

электронный научно-практический журнал

# актуальные вопросы аграрной науки

выпуск №44  
сентябрь

МОЛОДЁЖНЫЙ 2022



**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Иркутский государственный  
аграрный университет имени А.А. Ежевского»**

**Электронный научно-практический журнал  
“АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ АГРАРНОЙ НАУКИ”**

Выпуск № 44  
сентябрь

**Молодежный 2022**

Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”, 2022, выпуск 44, сентябрь.

Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”, 2022, 44th edition, September.

Издается по решению Ученого совета Иркутской государственной сельскохозяйственной академии с ноября 2011 г.

It is edited under the decision of the Scientific Council of the Irkutsk State Academy of Agriculture since November, 2011.

**Главный редактор:** Я.М. Иваньо – д.т.н.

**Зам. главного редактора:** М.К. Бураев – д.т.н.

**Ответственный секретарь:** Б.Ф. Кузнецов – д.т.н.

**Члены редакционного совета:** С.Н. Шуханов – д.т.н.; В.Н. Хабардин – д.т.н.; Ю.М. Краковский – д.т.н.; В.И. Зоркальцев – д.т.н.; С.Н. Степаненко – д.ф.-м.н. (Одесский государственный экологический университет, г. Одесса, Украина).

**Chief editor:** Ya.M. Ivanyo – D. Sc. in engineering.

**Deputy chief editor:** M.K. Buraev – D. Sc. in engineering.

**Executive secretary:** B.F. Kuznetsov – D. Sc. in engineering.

**The members of the editorial board:** S.N. Shukhanov – D. Sc. in engineering; V.N. Khabardin – D. Sc. in engineering; Yu.M. Krakovsky – D. Sc. in engineering; V.I. Zorkaltsev – D. Sc. in engineering; S.N. Stepanenko – D. Sc. in physics and mathematics (Odessa State Ecological University, Ukraine).

В журнале опубликуются работы авторов по разным тематикам: проблемам развития агроинженерных систем и технологий, математическим и информационным технологиям решения прикладных задач.

In the journal there are articles on different topics, such as: problems of development of agroengineering systems and technologies, mathematical and information technologies for solving applied problems.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС77 – 76761.

The journal is registered by the Federal Agency for Supervision in the sphere of Communications, Information Technologies and Mass Media Communications. Certificate of registration of mass media is El № FS77 – 76761.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования электронной библиотеке LIBRARY.RU.

The journal is included to the Russian Federation index of scientific quoting of electronic library eLIBRARY.RU.

Рукописи, присланные в журнал, не возвращаются. Авторы несут полную ответственность за подбор и изложение фактов, содержащихся в статьях; высказываемые ими взгляды могут не отражать точку зрения редакции. Любые нарушения авторских прав преследуются по закону. Перепечатка материалов журнала допускается только по согласованию с редакцией. Рецензии хранятся в редакции не менее 5 лет в бумажном и электронном вариантах и могут быть предоставлены в Министерство образования и науки РФ по запросу. Manuscripts are not returned to the authors. The authors are fully responsible for the compilation and presentation of information contained in their papers; their views may not reflect the Editorial Board’s point of view. Copyright. All rights protected. No part of the Journal materials can be reprinted without permission from the Editors. Reviews are stored in the office of editorial board at least 5 years in the paper and electronic versions and they can be provided on request to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation. In addition, the editorial board provides its opinion on the compliance of the scientific work and the possibility of the publication.

Статьи проверены с использованием Интернет-сервиса “Антиплагиат”

Articles are verified with Internet-service “Anti-plagiary”

## СОДЕРЖАНИЕ

### **Серия МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АГРОИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ**

*Бодякина Т.В., Елтошкина Е.В., Горбунова Т.Л.*

Об износе прецизионных пар топливного насоса высокого давления при работе дизеля.. 6

*Подъячих С.В.*

Анализ режимов работы действующих электрических сетей низкого напряжения..... 12

*Поляков Г.Н., Аникиенко Н.Н., Самусик Г.С.*

Совершенствование сеялки СЗП-3.6 для посева в гряды..... 22

*Сурин Р.О., Щитов С.В., Кузнецов Е.Е.*

Обоснование выбора формы рабочих органов для фронтального прокальвателя-щелереза.. 29

*Третьяков А.Н., Кудряшев Г.С., Батищев С.В., Гармаева А.Б.*

Оптимизация затрат при энергомониторинге распределительных сетей..... 36

### **Серия ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, УПРАВЛЕНИЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

*Асалханов П.Г., Петрова С.А.*

О некоторых IT-разработках в рамках подготовки кадров для цифровой трансформации сельского хозяйства региона..... 43

*Зоркальцев В.И.*

Условия оптимальности и их формы..... 52

*Крюков А.В., Суслов К.В., Лэ Ван Тхао, Чан Зюй Хынг*

Моделирование режимов электрических сетей, оборудованных многоцепными линиями электропередачи..... 64

## CONTENTS

### Series MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AGRO-ENGINEERING SYSTEMS

<i>Bodyakina T.V., Eltoshkina E.V., Gorbunova T.L.</i> About the wear of precision pairs of the fuel pump of high-pressure during diesel operation.....	6
<i>Podyachikh S.V.</i> Analysis of operating modes of operating low voltage electric networks.....	12
<i>Polyakov G.N., Anikienko N.N., Samusik G.S.</i> Improvement of the SZP-3.6 seeder for sowing in the grid.....	22
<i>Surin R.O., Shitov S.V., Kuznetsov E.E.</i> Rationale for the choice of the form of working bodies for the front piercing-cutter.....	29
<i>Tretyakov A.N., Kudryashev G.S., Batishchev S.V., Garmaeva A.B.</i> Optimization of costs in energy monitoring of distribution networks.....	36

### Series INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING, MANAGEMENT, MATHEMATICAL MODELING

<i>Asalkhanov P.G., Petrova S.A.</i> About some IT-developments as part of training staff for the digital transformation of agriculture in the region.....	43
<i>Zorkaltsev V.I.</i> Optimality conditions and their forms.....	52
<i>Kryukov A.V., Suslov K.V., Le Van Thao, Chan Zui Hyng</i> Simulation of modes of electric networks equipped with multi-circuit power lines.....	64

УДК 631

## **ОБ ИЗНОСЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПАР ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ ДИЗЕЛЯ**

**Т.В. Бодякина, Е.В. Елтошкина, Т.Л. Горбунова**

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

*п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия*

В статье проведен анализ износа прецизионных пар тракторных дизелей. Основной причиной влияющей на работу дизеля является абразивный износ прецизионных пар. Одной из причин абразивного изнашивания можно назвать качество топлива, его хранение и топливоподача. В топливе содержатся механические примеси, каталитические частицы различного вида. Их наличие при недостаточной фильтрации приводит к износам, схватыванию и заклиниванию прецизионных пар топливной аппаратуры. Наиболее подвержен изнашиванию участок плунжера, расположенный напротив впускного окна втулки, а у втулки – поверхность, находящаяся над верхней кромкой впускного отверстия. Менее подвержен изнашиванию нижний участок перепускного окна у верхней кромки плунжера. В связи с неравномерным распределением по цилиндрам топлива, увеличением продолжительности впрыска и избыточной подачей топлива нарушается процесс сгорания топлива. Из-за износа золотниковой части плунжера происходит отказ плунжерных пар. В районе наполнительного и отсечного отверстия втулки образуются местные износы, которые влияют на гидравлическую плотность пары. Износ сопрягаемого отверстия гнезда и разгрузочного клапана искажает начальные размеры, форму и поверхность. В топливопроводе высокого давления не создается необходимый эффект и не обеспечивается четкая отсечка подачи топлива. К снижению цикловой подачи топлива приводит износ прецизионных пар тракторных дизелей. Следствием износа являются протечки и увеличение температуры выработанных газов, что непосредственно приводит к аварийным ситуациям. Для повышения эффективности эксплуатации и надежности дизелей необходимо увеличить износостойкость прецизионных пар топливной аппаратуры.

*Ключевые слова:* дизель, износ, прецизионные пары, отказ, протечки.

## **ABOUT THE WEAR OF PRECISION PAIRS OF THE FUEL PUMP OF HIGH- PRESSURE DURING DIESEL OPERATION**

**Bodyakina T.V., Eltoshkina E.V., Gorbunova T.L.**

FSBEI HE Irkutsk SAU

*Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia*

The article analyzes the wear of precision pairs of tractor diesel engines. The main reason affecting the operation of a diesel engine is the abrasive wear of precision pairs. One of the causes of abrasive wear can be called the quality of the fuel, its storage and fuel supply. The fuel contains mechanical impurities, catalytic particles of various types. Their presence with insufficient filtration leads to wear, seizing and jamming of precision pairs of fuel equipment.

The plunger section located opposite the bushing inlet window is most subject to wear, and the bushing has a surface located above the upper edge of the inlet hole. The lower section of the bypass window at the upper edge of the plunger is less subject to wear. Due to the uneven distribution of fuel over the cylinders, an increase in the duration of injection and excessive fuel supply, the fuel combustion process is disrupted. Due to the wear of the spool part of the plunger, the plunger pairs fail. In the area of the filling and cut-off openings of the sleeve, local wear is formed, which affects the hydraulic density of the pair. Wear of the mating hole of the socket and the unloading valve distorts the initial dimensions, shape and surface. The required effect is not created in the high-pressure fuel line and a clear cut-off of the fuel supply is not provided. The wear of precision pairs of tractor diesel engines leads to a decrease in the cyclic fuel supply. The consequence of wear is leakage and an increase in the temperature of the exhaust gases, which directly leads to emergency situations. To increase the efficiency of operation and reliability of diesel engines, it is necessary to increase the wear resistance of precision pairs of fuel equipment.

*Keywords:* diesel, wear, precision pairs, failure, leaks.

**Введение.** Развитие машиностроения, нефтехимии и опыт эксплуатации тракторных дизелей показывает, что наибольшее количество отказов приходится на детали топливной аппаратуры. Одно из главных условий обеспечения надежной и экономичной работы дизеля в процессе эксплуатации является оптимальная и стабильная топливоподача. Исследованиями установлено, что из-за высокой стоимости топливной аппаратуры для тракторных дизелей на одном двигателе могут быть установлены как новые, так и восстановленные прецизионные пары, обладающие износостойкостью различных типов и эксплуатационными характеристиками.

На отказы механизмов приходится около 80%, что предусматривает большие материальные затраты.

**Цель исследования** – анализ износа прецизионных пар топливной аппаратуры при работе дизеля.

**Материалы и методы исследования.** При эксплуатации тракторных дизелей производится оценка технического состояния пар трения, а также при ремонте. Работоспособное состояние прецизионных пар оценивается по зазору между плунжером и втулкой.

У втулки и плунжера изнашивание прецизионных поверхностей происходит не равномерно. Изменение площади сечения зазора между плунжером и втулкой происходит по длине. Наиболее подвержен изнашиванию участок плунжера, который расположен напротив впускного окна втулки, а у втулки – поверхность, находящаяся над верхней кромкой впускного отверстия. Менее подвержен изнашиванию нижний участок перепускного окна и у верхней кромки плунжера [1].

Анализ поверхностей изношенных пар трения показал, что износы плунжера и втулки носят абразивный характер. Величина максимального износа втулки и плунжера уменьшается по длине местного износа, который имеет вид желоба. Изменение величины износа происходит одновременно по ширине и по длине желоба.

Запорный конус изнашивается у нагнетательного клапана от ударной посадки клапана, остаточного давления в трубопроводе и от влияния абразивных частиц имеющихся в топливе. Износ характеризуется шириной кольцевой канавки около 0.45 мм и глубиной 0.049 мм [3].

Изнашивание разгрузочного пояска приходится в основном на конус. Изнашивается участок гнезда в момент выхода пояска из отверстия, т.е. в момент когда нагнетается топливо плунжером с определенной скоростью через кольцевую щель. Частицы, находящиеся в топливе, воздействуют на нижнюю часть пояска. На поверхности пояска на начальной стадии видны поперечные риски и закругление кромки.

У клапана изнашивается направляющее отверстие и запорная фаска. Изнашивание происходит на участке длиной 1.9 мм. Износ на диаметр в среднем достигает 0.028 мм. В этом случае нарушается цилиндрическая форма отверстия и основание конуса направлено к торцу гнезда клапана.

С нижней стороны торца отверстие незначительно изнашивается. Форма изношенной поверхности прямоугольная.

**Результаты исследования.** Износ сопрягаемого отверстия гнезда и разгрузочного клапана искажает начальные размеры, форму и поверхность. Зазор увеличивается в 6 раз в соединении разгрузочного пояска и в 7 раз с учетом глубины бороздок микрорельефа. В топливопроводе высокого давления не создается необходимый эффект и не обеспечивается четкая отсечка подачи топлива.

Выявлено, что при увеличении зазора в разгрузочном пояске клапана увеличивается подача топлива. При зазоре 0.04 мм производительность секций на пусковых оборотах у топливного насоса УТН-5 возрастает на 50 %, а на номинальных около 15%. При этом наблюдается неравномерность цикловой подачи топлива (рис. 1).

Кроме того, при износе клапанов происходит ранее впрыскивание. Продолжительность впрыска увеличивается форсункой. В связи с неравномерным распределением по цилиндрам топлива, увеличением продолжительности впрыска и избыточной подачей топлива нарушается процесс сгорания топлива, двигатель работает жестко, с перегревом, выхлопами и интенсивным износом шатунно-поршневой группы [4, 5].

Для обеспечения необходимой цикловой подачи при регулировке топливного насоса высокого давления (ТНВД) увеличивают активный ход плунжера. За счет этого возрастает объем подаваемого топлива, но продолжительность впрыска растягивается и при сохранении момента начала подачи топлива насосом, увеличенная доза топлива приходится на конец впрыска.



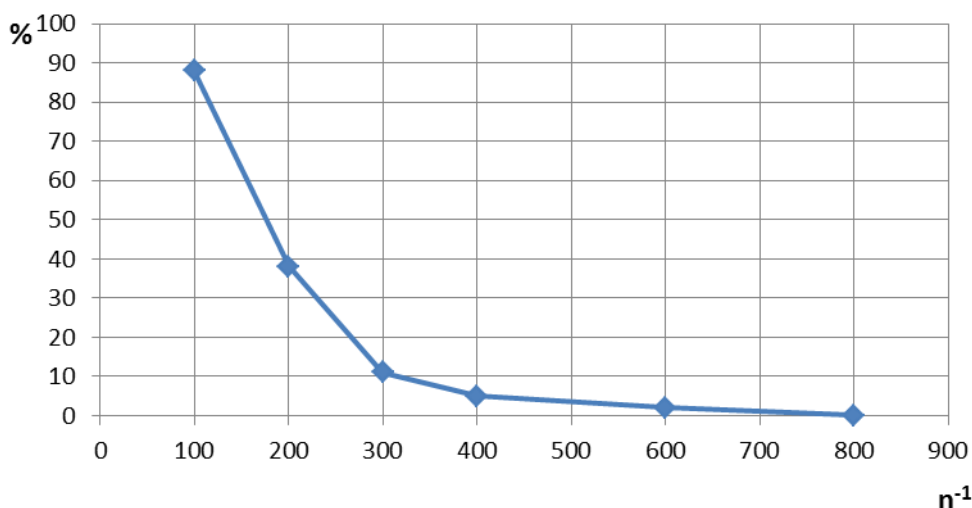


Рисунок 1 – Изменение неравномерности цикловой подачи топлива от износа прецизионных пар

За каждый цикл распылитель форсунки из-за продолжительности впрыска подвергается длительному воздействию продуктов сгорания [5]. За цикл средняя температура возрастает с  $180^{\circ}$  до  $200^{\circ}$  и надежность их снижается [2, 7, 8].

Дизель работает с перегрузкой из-за неравномерной подачи топлива в цилиндр. Определяющим фактором работы дизеля в процессе эксплуатации является изменение экономичности при оценке неравномерности подачи топлива.

Неравномерность подачи топлива по цилиндрам двигателя выше 10% приводит к увеличению удельного расхода топлива.

Из-за износа золотниковой части плунжера происходит отказ плунжерных пар. В районе наполнительного и отсечного отверстия втулки образуются местные износы, которые влияют на гидроплотность пары. Следствием больших величин протечек топлива является замена плунжерных пар на дизелях и невозможности его запуска на дизельном топливе. А также на двигателе все плунжерные пары заменяются независимо от технического состояния и их наработки [9]. Для оценки величин зазоров в плунжерных парах были проведены измерения геометрических размеров плунжеров и втулок [6, 10].

Исследованиями выявлено, что после 20-25 тыс. ч работы дизеля диаметральный зазор в плунжерной паре увеличивается: у среднеоборотных дизелей – на 7-9 мкм, малооборотных дизелей – на 9-14 мкм. Износ верхней части плунжера в районе отсечных кромок существенно больше, чем у остальной части и для различных типов дизелей отличается незначительно (рис. 2). Он колеблется в пределах 15-26 мкм (средняя величина износа для дизелей, работающих на дизельном топливе, составляет 17.2 мкм; а при работе на тяжелых сортах топлива – 19.5 мкм для среднеоборотного

двигателя и 21.2 мкм – для малооборотного). У отказавших плунжерных пар зазоры в сопряжении увеличиваются в 2-5 раз. Причем наибольший относительный зазор наблюдается у среднеоборотного двигателя, работающего на дизельном топливе и имеющего номинальные зазоры несколько меньше, чем у образцов, эксплуатируемых на других более тяжелых сортах топлива.

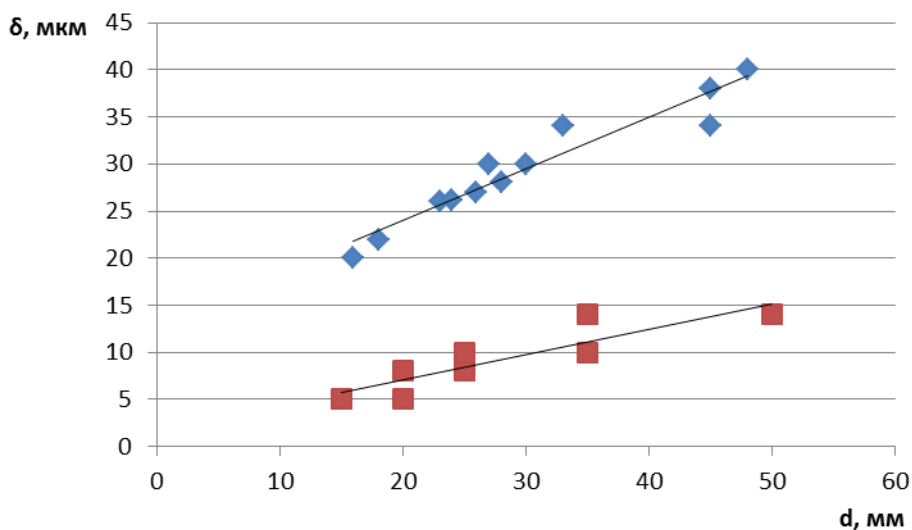


Рисунок 2 – Изменение зазора от диаметра плунжера:  
 1 – средний зазор в районе отсечной кромки (верхняя прямая);  
 2 – номинальный зазор в плунжерной паре (нижняя прямая)

**Выводы.** Износ прецизионных пар тракторных дизелей приводит к снижению цикловой подачи топлива. Следствием являются протечки и увеличение температуры выработанных газов, что непосредственно приводит к аварийным ситуациям. Для повышения эффективности эксплуатации и надежности дизелей необходимо увеличить износостойкость прецизионных пар топливной аппаратуры.

Таким образом, проведенные исследования показывают необходимость поиска способов для уменьшения неравномерности подачи топлива и выработке необходимых методов оценки топливной аппаратуры.

#### Список литературы

1. Бодякина, Т.В. Теоретическое определение износа прецизионных деталей топливной аппаратуры высокого давления тракторных дизелей / Т.В. Бодякина, М.К. Бураев, П.А. Болоев // Матер. междунар. науч.-техн. конф. СФНЦА РАН. – Новосибирск, 2019. – С. 195-201.
2. Болоев, П.А. Оптимизация параметров работы двигателя на неустановившихся режимах / П.А. Болоев, Н.С. Хитерхеева, И.Г. Новгородов, С.А. Петрова // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2019. – № 33.
3. Болоев, П.А. Программируемые бортовые системы диагностирования двигателей / П.А. Болоев, Т.В. Бодякина, А.Е. Немцев, А.Б. Лубсанова / Матер. IX национальной науч.-практ. конф. с междунар. участием “Чтения И.П. Терских”, посвящ. проблеме “Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК” (23-24 сентября 2021 г., г. Иркутск). – Иркутск, 2021. – С. 14-19.

4. Бураев, М.К. Влияние уровня производственно-технической эксплуатации на ресурсные параметры машин / М.К. Бураев, А.С. Шеметов, Ц.В. Цэдашиев // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2019. – № 32. – С. 5-11.

5. Елтошкина, Е.В. Обеспечение работоспособности и отказоустойчивости машин резервированием сменных элементов / Е.В. Елтошкина, М.К. Бураев, Т.В. Бодякина // Тракторы и сельхозмашины. – 2019. – № 6. – С. 54-57.

6. Кривцова, Т. И. Математическая модель электрогидравлической форсунки / Т.И. Кривцова, А.А. Кухтий, О.А. Свирбутович // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2019. – № 29. – С. 19-29.

7. Петриченко, Р.М. Рабочие процессы поршневых машин / Р.М. Петриченко, В.В. Оносовский // Л.: “Машиностроение”, 1972. – 168 с.

8. Сороко-Новицкий, В.И. Динамика процесса сгорания и влияние его на мощность и экономичность двигателя / В.И. Сороко-Новицкий // М.: Mashniz, 1996. – 176 с.

9. Шекихачев, Ю.А. Основные пути повышения стабильности параметров топливоподачи тракторных дизелей / Ю.А. Шекихачев, В.И. Батыров, Х.Б. Карданов // АгроЭкоИнфо. 2018. № 2. С. 1–14. URL: [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/ STATYI/2018/2/st\\_248.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/2/st_248.doc) (дата обращения: 17.09.2022).

10. Tatyana Bodyakina, Petr Boloev, Mihail Buraev, and Alexey Shisteev, E3S Web of Conferences 175, 05035 (2020) Diagnostics of hydraulic density of plunger couple of tractor diesel <https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2020/35/contents/contents.html>

### References

1. Bodyakina, T.V. et all. Teoreticheskoe opredelenie iznosa precizionny`x detalej toplivnoj apparatury` vy` sokogo davleniya traktorny`x dizelej [Theoretical determination of wear of precision parts of high-pressure fuel equipment of tractor diesel engines]. Novosibirsk, 2019, pp. 195-201.

2. Boloev, P.A. et all. Optimizaciya parametrov raboty dvigatelya na neustanovivshihsiya rezhimah [Optimization of engine operation parameters in unsteady modes]. Aktual'nye voprosy agrarnoj nauki. 2019. vol. 33.

3. Boloev, P.A. et all. Programmiruemy`e bortovy`e sistemy` diagnostirovaniya dvigatelej [Programmable on-board engine diagnostics systems]. Irkutsk, 2021. pp. 14-19.

4. Buraev, M.K. et all. Vliyanie urovnya proizvodstvenno-tekhnicheskoj ekspluatatsii na resursnye parametry mashin [Influence of the level of production and technical operation on the resource parameters of machines]. 2019, no. 32, pp. 5-11.

5. Eltoshkina, E.V. et all. Obespechenie rabotosposobnosti i otkazoustojchivosti mashin rezervirovaniem smenny`x e`lementov [Ensuring the operability and fault tolerance of machines by reserving replaceable elements]. Traktory` i sel`hoz mashiny`, 2019, no. 6, pp. 54-57.

6. Krivtsova, T.I. et all. Matematicheskaya model' elektrogidravlicheskoj forsunki [Mathematical model of an electrohydraulic injector]. Aktual'nye voprosy agrarnoj nauki. 2019, vol. 29, pp. 19-29.

7. Petrichenko, R.M., Onosovskij, V.V. Rabochie processy` porshnevy`x mashin [Working processes of reciprocating machines]. L.: “Mashinostroenie”, 1972, 168 p.

8. Soroko-Noviczkiy, V.I. Dinamika processa sgoraniya i vliyanie ego na moshhnost` i e`konomichnost` dvigatelya [Dynamics of the combustion process and its effect on the power and efficiency of the engine]. Moscow: Mashniz, 1996, 176 p.

9. Shekixachev, Yu.A. et all. Osnovny`e puti pov`sheniya stabil`nosti parametrov toplivopodachi traktorny`x dizelej [The main ways to increase the stability of fuel supply parameters of tractor diesels]. [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/2/st\\_248.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/2/st_248.doc)

Дата поступления в редакцию 24.09.2022, дата принятия в печать 30.09.2022.

**Сведения об авторах**

**Бодякина Татьяна Владимировна** – старший преподаватель кафедры математики инженерного факультета. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89148781789, e-mail: bodt-24@rambler.ru).

**Елтошкина Евгения Валерьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры математики инженерного факультета. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89041292430, e-mail: eev\_baikal2005@mail.ru).

**Горбунова Татьяна Леонидовна** – старший преподаватель кафедры технической сервис и общепромышленные дисциплины инженерного факультета. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89149409674, e-mail: g.tatayana68@mail.ru).

**Information about authors**

**Bodyakina Tatyana V.** – Senior Lecturer of the Department of Mathematics of Faculty Engineer. FSBEI HE Irkutsk SAU (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 89148781789, e-mail: bodt-24@rambler.ru).

**Eltoshkina Evgeniya V.** – Candidate of Technical Sciences, Ass. Prof. of the Department of Mathematics of the Faculty of Engineering. FSBEI HE Irkutsk SAU (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 89041292430, e-mail: eev\_baikal2005@mail.ru ).

**Gorbunova Tatyana L.** – Senior Lecturer of the Department of Technical Services and Engineering Disciplines of Faculty Engineer. FSBEI HE Irkutsk SAU (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 89149409674, e-mail: g.tatayana68@mail.ru).

УДК 621.316

**АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

**С.В. Подъячих**

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

*п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия*

В статье рассматриваются режимы работы распределительных электрических сетей напряжением 0.38 кВ, питающих индивидуальные жилые дома. Измерение параметров электрической энергии осуществлялось сертифицированным прибором РЕСУРС-UF2М. На основании произведенных измерений построены временные диаграммы токов и напряжений. Проведен анализ полученных данных. Установлен достаточно высокий уровень несимметрии фазных токов, что соответственно вызывает существенную несимметрию трёхфазной системы напряжений электропитания. На основе произведенных измерений и использования компьютерной программы “Несимметрия” произведены вычисления показателей качества электрической энергии, характеризующие несимметрию напряжений, а также коэффициента, определяющего дополнительные потери электрической энергии при несимметрии фазных токов. Построены временные диаграммы этих показателей и произведен их анализ. В результате установлено, что качество и потери электрической энергии в значительной степени снижаются в результате несимметричного электропотребления в исследуемой электрической сети.

Основной причиной возникновения длительных несимметричных режимов электрических систем является несимметрия распределения потребителей электрической энергии по фазам сети. К таким потребителям в первую очередь следует отнести электротехнологические установки, преобладающее большинство которых, вследствие несимметричного исполнения и особенностей самого технологического процесса, обуславливает несимметрию режима питающей электрической сети, что отрицательно влияет на работу потребителей и ведет к ухудшению показателей качества электрической энергии. Подключение таких потребителей к электрической сети вызывает в последней несимметрию токов и напряжений, которая отрицательно сказывается на работе всех звеньев системы: генераторов, линий электропередачи и трансформаторов, приемников электроэнергии. Приведены рекомендации по нормализации режима работы данной электрической сети.

*Ключевые слова:* несимметрия токов и напряжений, дополнительные потери мощности, показатели качества электроэнергии, симметрирующее устройство, устройство преобразования фаз.

## **ANALYSIS OF OPERATING MODES OF OPERATING LOW VOLTAGE ELECTRIC NETWORKS**

**Podyachikh S.V.**

FSBEI HE Irkutsk SAU

*Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia*

The article discusses the operating modes of distribution electrical networks with a voltage of 0.38 kV, feeding individual residential buildings. The measurement of electrical energy parameters was carried out by a certified device RESURS-UF2M. Based on the measurements made, time diagrams of currents and voltages were constructed. The analysis of the obtained data was carried out. A sufficiently high level of asymmetry of phase currents has been established, which accordingly causes a significant asymmetry of the three-phase system of power supply voltages. On the basis of the measurements made and the use of the computer program "Asymmetry", the calculations of the indicators of the quality of electrical energy characterizing the asymmetry of voltages, as well as the coefficient that determines the additional losses of electrical energy in case of asymmetry of phase currents, were calculated. Time diagrams of these indicators have been constructed and their analysis has been carried out. As a result, it was found that the quality and losses of electrical energy are significantly reduced as a result of asymmetric power consumption in the electrical network under study.

The main reason for the occurrence of long-term asymmetric modes of electrical systems is the asymmetry of the distribution of consumers of electrical energy over the phases of the network. First of all, such consumers should include electrotechnological installations, the vast majority of which, due to the asymmetric design and features of the technological process itself, cause the asymmetry of the power supply network mode, which negatively affects the operation of consumers and leads to a deterioration in the quality of electrical energy. The connection of such consumers to the electrical network causes in the latter asymmetry of currents and voltages, which adversely affects the operation of all parts of the system: generators, power lines and transformers, electricity receivers. Recommendations are given for normalizing the operation of this electrical network.

*Keywords:* unbalance of currents and voltages, additional power losses, power quality indicators, balancing device, phase conversion device.

**Введение.** Последнее время достаточно много публикаций по анализу работы электрических сетей, в том числе и низкого напряжения, основано на моделировании режимов работы этих сетей, а также измененных параметров электрической энергии [15, 16]. Вместе с этим проведение непосредственных измерений в действующих электрических сетях с использованием для расчета параметров режима программных продуктов всегда остается актуальной задачей и является наиболее достоверным способом оценки режимов работы электрических сетей для всех уровней напряжения.

Возникновение несимметричных режимов при работе низковольтной электрической сети обусловлено многими причинами, основными из которых являются неравномерная нагрузка фаз, а также случайный характер коммутаций однофазных электроприемников в трехфазной системе напряжений. Наиболее достоверные данные могут быть получены при использовании сертифицированных средств измерения и проведении мониторинга качества электрической энергии в соответствии с установленным государственным стандартом [1]. Оценивание несимметричных режимов осуществляется по установленным показателям качества  $K_{2U}$  и  $K_{0U}$ . Значение этих показателей устанавливается в соответствующих интервалах времени измерения и составляет от 2 до 4% [2]. Но кроме изменения данных показателей, характеризующих неравномерное распределение нагрузки по фазам сети, происходит существенное увеличение дополнительных потерь активной мощности и электрической энергии, обусловленных возникающими потоками обратной и нулевой последовательности. Критерием оценки дополнительных потерь электрической энергии служит коэффициент увеличения таких потерь  $K_p$ , представляющий собой отношение потерь активной мощности, в несимметричном режиме работы сети, к соответствующим потерям при симметричном режиме [5]. В соответствии с этим очевидно, что мониторинг несимметричных режимов работы распределительных сетей 0,38 кВ, основанный на современных методах измерений и расчетов в действующих электрических сетях, а также рекомендации по симметрированию этих режимов, является актуальной задачей современной электроэнергетики.

Таким образом, **целью исследования** является анализ режимов работы действующей низковольтной электрической сети 0.38 кВ.

**Методы исследований.** Несимметрия трехфазной системы напряжения в трехфазной четырехпроводной электрической сети формируется вследствие несимметричного распределения однофазных электроприемников по трём фазам и случайным характером их коммутаций. С одной стороны это снижает качество электрической энергии, с другой – возникают дополнительные потери, которые приводят увеличению расхода электрической энергии из-за увеличения её потерь [10].

Качество электрической энергии в несимметричных режимах оценивается следующими показателями: коэффициент несимметрии

напряжения по обратной последовательности  $K_{2U}$  и коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности  $K_{0U}$ , значение которых устанавливается государственными стандартами разных стран [1, 11-14]:

$$K_{2U} = \frac{U_2}{U_{nom}} \times 100 \% ; K_{0U} = \frac{\sqrt{3}U_0}{U_{nom}} \times 100 \% . \quad (1)$$

В выражении (1)  $U_2$  и  $U_0$  – симметричные составляющие напряжений, соответственно обратной и нулевой последовательностей;  $U_{nom}$  – номинальное напряжения электрической сети.

Дополнительные потери электрической энергии, характеризуются коэффициентом увеличения потерь мощности [5]:

$$K_P = 1 + K_{21}^2 + K_{0I}^2 \times (1 + 3r_N / r_\Phi) . \quad (2)$$

В выражении (2):  $K_{21} = \frac{I_2}{I_1}$ ,  $K_{0I} = \frac{I_0}{I_1}$  – коэффициенты несимметрии токов по обратной и нулевой последовательностям, соответственно;  $r_\Phi$  и  $r_N$  – активные сопротивления фазного (прямой последовательности) и нулевого проводников.

Коэффициенты несимметрии токов обратной и нулевой последовательностей определяют аналогично выражению (2):

$$K_{21} = \frac{I_2}{I_1} \times 100 \% ; K_{0I} = \frac{I_0}{I_1} \times 100 \% , \quad (3)$$

где  $I_2$  и  $I_0$  - соответственно ток обратной и нулевой последовательностей;  $I_1$  - ток прямой последовательности.

Таким образом, уменьшить потери электроэнергии (мощности) в линии электропередачи можно, уменьшая величину протекающего по ним тока, либо уменьшая сопротивления этих линий. В идеальном случае значение этого коэффициента  $K_P=1$ . На самом деле реальный режим электропотребления в низковольтной электрической сети всегда характеризуется значительным превышением этого значения, что доказано проведенными исследованиями [3, 8, 9]. По этой причине снижение несимметричного распределения токов по фазам трехфазной сети позволяет не только улучшить показатели качества электрической энергии, но и уменьшить технические потери на передачу электрической энергии.

**Основные результаты.** В зимний период с 13 по 20 февраля 2022 г. были произведены измерения параметров электрической энергии, для чего на вводе в жилой дом устанавливался сертифицированный в Российской Федерации прибор Ресурс-UF2М (заводской номер № 2479). Источником электрической энергии для жилого дома служит силовой трансформатор

ТМГ1000-10/0.4. Длина питающей линии электрической передачи, выполненной проводом СИП 4 (4×70), составляет 400 м. Нагрузкой, получающей питание по данной линии 0.38 кВ, являются 9 частных жилых домов. Измерения осуществлялись непрерывно в течение одной недели в соответствии с ГОСТ 33073-2014 [2]. Для измерения исследуемого показателя измерительный комплекс Ресурс-UF2М настроен на фиксацию усредненных мгновенных значений в десятиминутном интервале измерения.

На временных диаграммах (рис. 1) показано изменение фазных токов на вводе  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ , а также тока в нулевом проводнике  $I_N$ .

Анализ измерений (рис. 1) позволил получить следующие результаты. Среднее за рассматриваемый период значение токов в фазах А и С практически одинаково (соответственно 10.52 и 8.9 А). Отличие не превышает 15%, что можно считать допустимым. В фазе В среднее значение тока существенно превышает токи в других фазах и составляет 16.44 А. Это практически на 65% больше, чем в двух других фазах, что говорит о неравномерной распределении нагрузки по фазам сети.

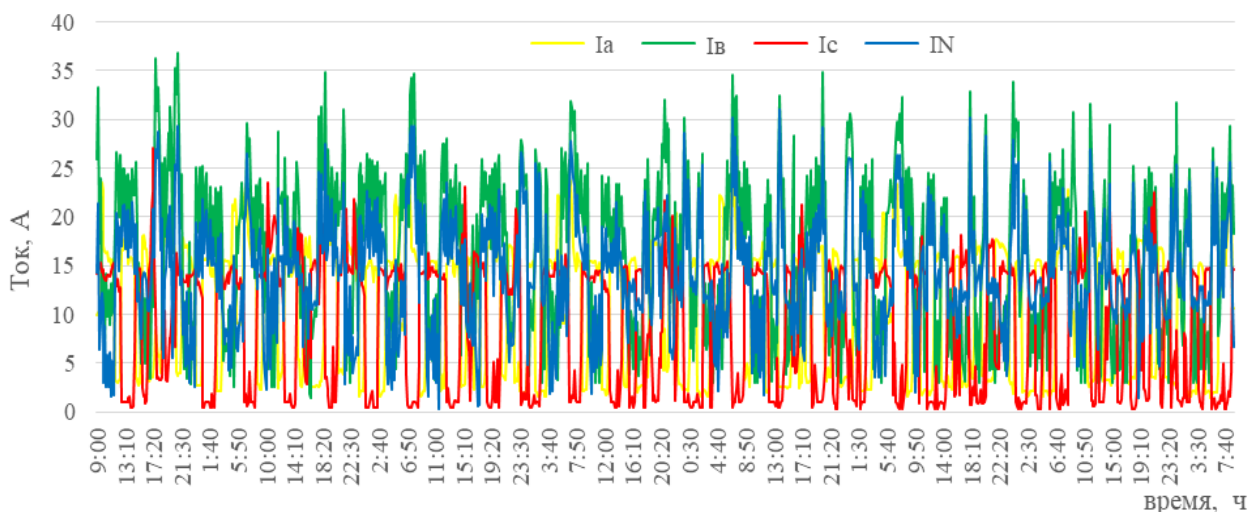


Рисунок 1 – Временная диаграмма изменения токов

Следует отметить, что в большинстве случаев нет возможности в ручном режиме перераспределить нагрузку, это связано с конфигурацией распределительной сети в жилом доме.

На основании данных измерений токов и в соответствии с модульным методом расчета [5] используя программу [10] произведен расчет коэффициента  $K_p$ , временная диаграмма изменения которого представлена на рисунке 2.

Анализируя данные (рис. 2) получаем, что коэффициент потерь  $K_p$  изменяется в интервале от 1.11 до 9.27. Среднее значение коэффициента за недельный период времени составило 3.29. Таким образом, дополнительные потери мощности, обусловленные несимметрией токов в трехфазной сети (в



частности, токами обратной и нулевой последовательности) в среднем в 3.29 раз превышают потери, по сравнению с симметричным режимом работы.

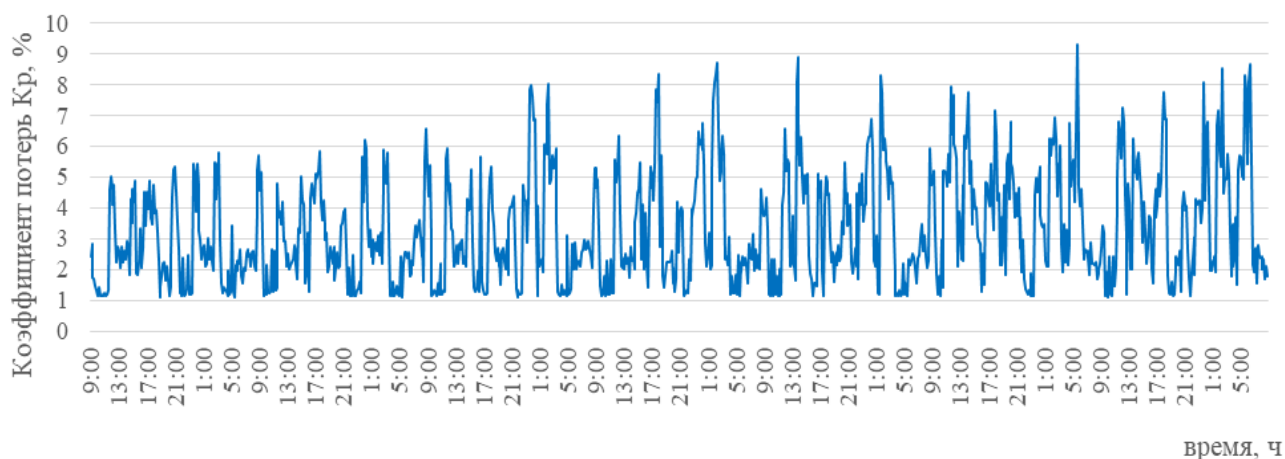


Рисунок 2 – Временная диаграмма изменения коэффициента мощности

Далее рассмотрим, как изменяются показатели качества электроэнергии, характеризующие несимметрию трёхфазной системы напряжений. Известно, что несимметричный ток (рис. 1), протекая по элементам электрической сети, вызывает на каждом из этих элементов несимметричное падение напряжения. В результате вся трёхфазная система напряжений становится несимметричной (вследствие появления напряжений обратной и нулевой последовательностей). При этом изменяются значения фазных и междуфазных напряжений (рис. 3, 4).

Как видно из представленных рисунков фазные напряжения ( $U_a$ ,  $U_b$ ,  $U_c$ ) изменяются от минимального значения, равного 218 В до максимального, равного 246 В, а междуфазные напряжения колеблются от 391 до 410 В. Такое расхождение значений фазных и линейных напряжений соответствует изменению коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям, представленным на рисунке 5. В соответствии с ГОСТ 32144-2013 [1] значение коэффициентов  $K_{2U}$  и  $K_{0U}$  в 95% времени диапазона измерений в одну неделю не должны выходить за пределы 2%, и только в 5% этого диапазона их значение не должно выходить за пределы 4%. Значения показателя  $K_{2U}$  находятся в норме, а значения показателя  $K_{0U}$  выходит за предел 2% в 67% измерений, а за предел 4% – в 6% измерений (рис. 5).

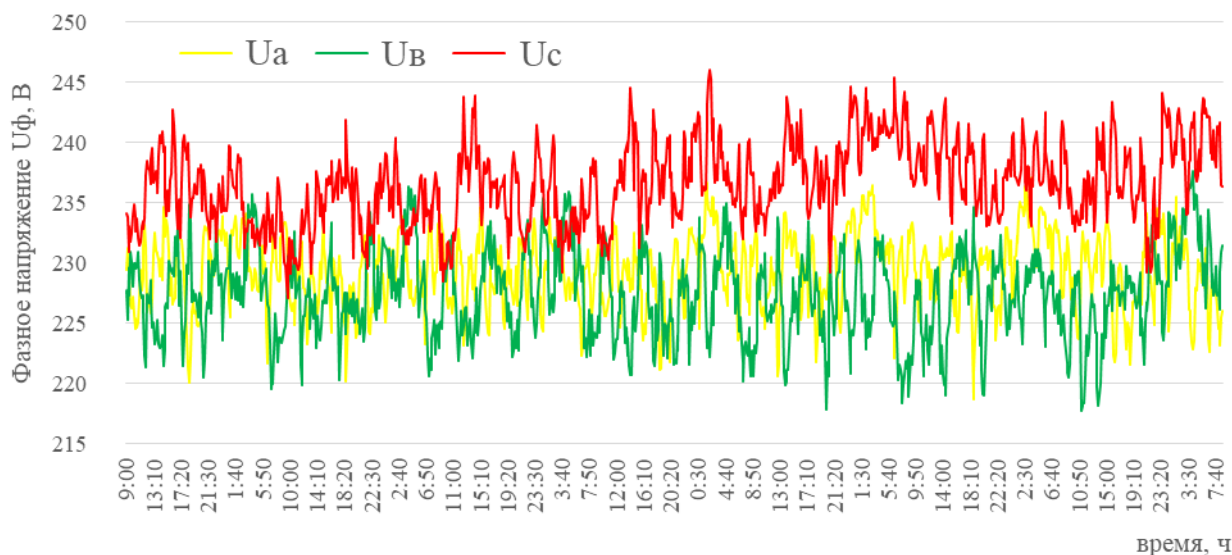


Рисунок 3 – Временная диаграмма изменения фазных напряжений

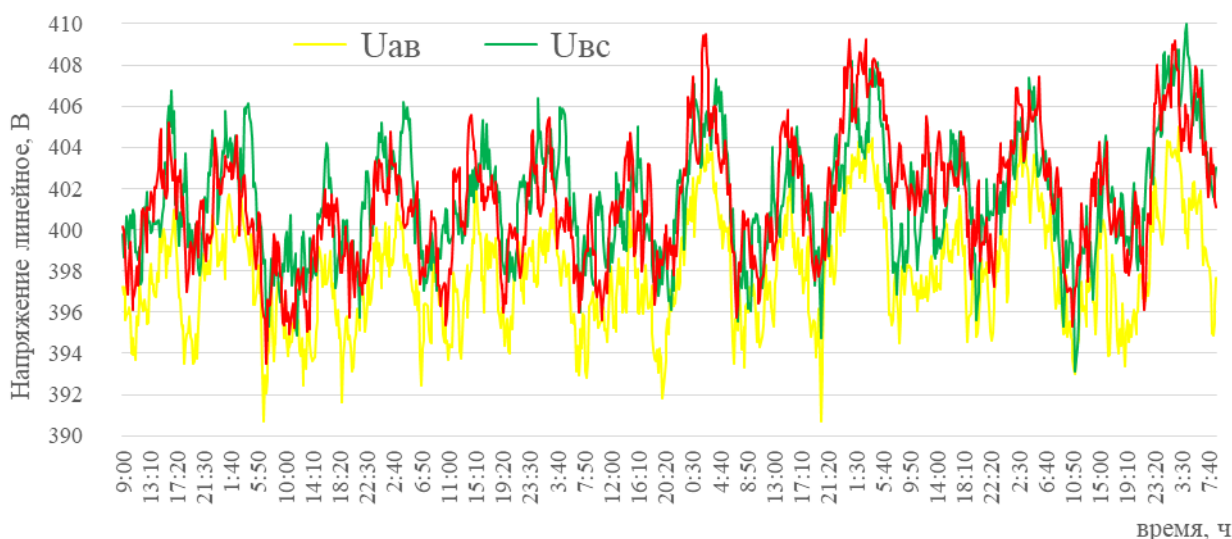


Рисунок 4 – Временная диаграмма изменения междуфазных напряжений

Среднее значение за весь период измерений составило 2.46. Максимальные значения для этих коэффициентов равны 1.43% для  $K_{2U}$  (превышение нормально допустимых значений не выявлено) и для  $K_{0U}$  – 5.26% (превышение предельных значений на 24%).

Таким образом, представленные результаты измерений и расчетов доказывают, что коммунально-бытовые потребители, получающие электрическую энергию по трехфазной четырехпроводной электрической сети, имеют значительный уровень несимметрии фазных токов и напряжений, что ухудшает качество и увеличивает дополнительные потери электрической энергии.

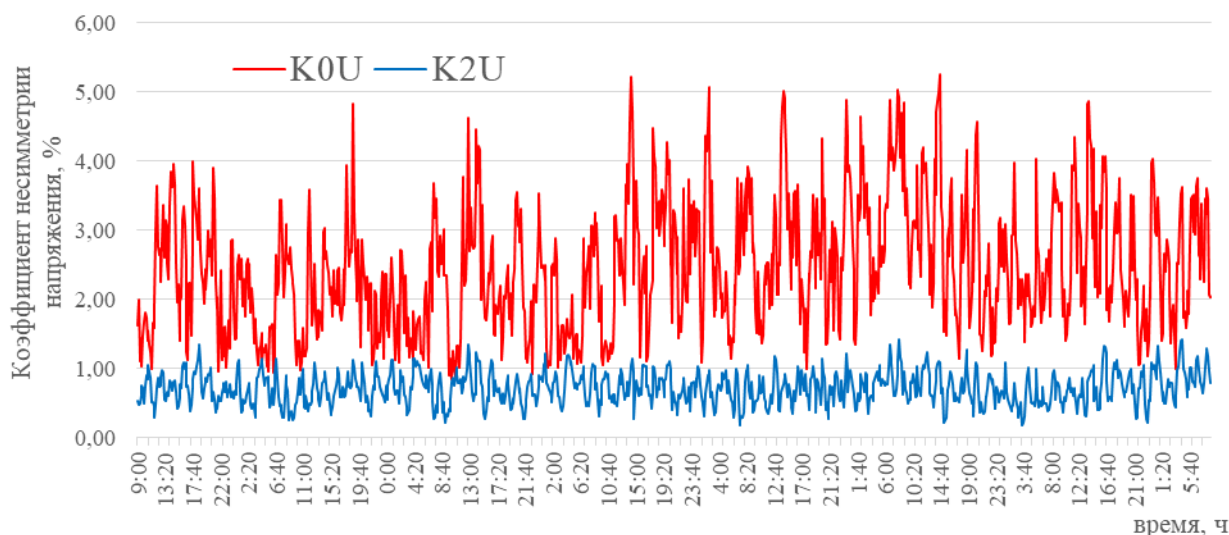


Рисунок 5 – Временная диаграмма изменения коэффициентов несимметрии обратной и нулевой последовательностей

Проведенными ранее исследованиями [10] установлено, что наиболее эффективным средством симметрирования режима является использование специальных шунто-симметрирующих устройств, имеющих минимально возможное сопротивление токам нулевой последовательности, а также автоматически регулирующих мощность в функции тока нулевой последовательности [4, 6, 7]. Параметры такого устройства можно определить, используя метод, описанный в работе [10].

**Выводы.** Проведенные исследования позволили установить следующее.

1. Электрические распределительные сети 0.38 кВ, питающие коммунально-бытовую нагрузку, работают в условиях несимметричного электропотребления, что в свою очередь приводит к снижению уровня качества электрической энергии у потребителя и увеличению технических потерь электрической энергии при её передаче.

2. Уровень несимметрии токов и напряжений определяется насыщенностью и разнообразием электроприемников каждого отдельного потребителя (для рассмотренного примера максимальное увеличение показателя несимметрии напряжения по нулевой последовательности превысило нормируемое значение более чем в 2 раза).

3. Наиболее эффективными техническими средствами, позволяющими повышать эффективность использования электрической энергии в электропотреблении коммунально-бытовой нагрузки, являются специальные симметрирующие устройства.

#### Список литературы

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. с 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

2. ГОСТ 33073-2014. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. с 2015-01-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 45 с.
3. Иванов, Д.А. Исследование потерь электрической энергии в сети 0.38 кВ / Д.А. Иванов, И.В. Наумов, С.В. Подъячих // Вестник ИрГСХА. – 2017. – №81-2. – С. 70-77.
4. Иванов, Д.А., Наумов И.В., Шпак Д.А., Матвеев А.А., Подъячих С.В., Сукьясов С.В. Симметрирующее устройство для трехфазной четырехпроводной сети с регулируемыми параметрами / Д.А. Иванов, И.В. Наумов, Д.А. Шпак, А.А. Матвеев, С.В. Подъячих, С.В. Сукьясов // Патент на полезную модель RU61063 U1, 10.02.2007. Заявка №2006110751/22 от 03.04.2006.
5. Косоухов, Ф.Д. Методы расчета и анализа показателей несимметрии токов и напряжений в сельских распределительных сетях: Учеб. пособие / Ф.Д. Косоухов. - Л.: ЛСХИ, 1984.
6. Лукина, Г.В. Устройство для симметрирования токов и напряжений в трехфазной сети с нулевым проводом и саморегулируемой индуктивностью / Г.В. Лукина, И.В. Наумов, А.А. Лукин, С.В. Сукьясов, С.В. Подъячих // Свидетельство на полезную модель № 26699: (51) МПК 7 Н 02 J 3/26. Выдано 03.06.2002 с формулой: (21)2002114471/20
7. Наумов, И.В. Симметрирующее устройство для трехфазных сетей с нулевым проводом / И.В. Наумов, Д.А. Иванов, С.В. Подъячих, Д. Гантулга // Патент на изобретение RU2490768 С2, 20.08.2013. Заявка №2010144245/07 от 28.10.2010.
8. Наумов, И.В. Исследование и анализ дополнительных потерь мощности и качества электрической энергии в сельских распределительных сетях напряжением 0.38 кВ при несимметричной нагрузке / И.В. Наумов, С.В. Подъячих, Д.А. Иванов, Шпак Д.А. // Отчет о НИР. – 2006. – С. 56.
9. Наумов, И.В. Качество электрической энергии и снижение дополнительных потерь мощности в электрических сетях / И.В. Наумов, С.В. Подъячих, Д.А. Иванов // Вестник ИрГСХА. – 2009. – №37. – С. 83-88.
10. Подъячих, С.В. Нормализация качества электрической энергии в сельских сетях 0.38кВ при несимметричной нагрузке для снижения энергетических потерь / С.В. Подъячих // Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук / Иркутск, 2003. – 244 с.
11. EN 50160:2010/A3:2019. Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks (2019).
12. GB/T 15543-2008. Power quality – Three-phase voltage unbalance.
13. IEEE 1159-2019 – IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality
14. IEC 61000-4-30:2008 Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality measurement methods.
15. Naumov, I.V., Podyachikh S.V. (2022) The 0.38 kV "Green Network" Operating Modes Simulation with Multi-Level Unbalanced Power Consumption IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 990 012055 doi:10.1088/1755-1315/990/1/012055.
16. Naumov, I.V. et all. (2022) Modeling of Unbalanced Operating Modes in Low-Voltage Distribution Networks. In: Popkova E.G. (eds) Imitation Market Modeling in Digital Economy: Game Theoretic Approaches. ISC 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 368. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-93244-2\_57.

### **References**

1. GOST 32144-2013. Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemah elektrosnabzheniya

obshchego naznacheniya [Electrical energy. Electromagnetic compatibility of technical means. Standards for the quality of electrical energy in general-purpose power supply systems]. Moscow: Standartinform, 2014, 20 p.

2. GOST 33073-2014. Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Kontrol' i monitoring kachestva elektricheskoy energii v sistemah elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya [Electrical energy. Electromagnetic compatibility of technical means. Control and monitoring of the quality of electrical energy in general-purpose power supply systems]. Moscow: Standartinform, 2015, 45 p.

3. Ivanov, D.A. et al. Issledovanie poter' elektricheskoy energii v seti 0.38 kV [Investigation of electrical energy losses in the 0.38 kV network]. Vestnik IrGSKHA, 2017, no. 81-2, pp. 70-77.

4. Ivanov, D.A. et al. Simmetriruyushchee ustrojstvo dlya trekhfaznoj chetyrekhprovodnoj seti s reguliruemymi parametrami [A symmetrical device for a three-phase four-wire network with adjustable parameters]. Patent na poleznuyu model' RU61063 U1, 10.02.2007. Zayavka №2006110751/22 ot 03.04.2006.

5. Kosouhov, F.D. Metody rascheta i analiza pokazatelej nesimmetrii tokov i napryazhenij v sel'skih raspreditel'nyh setyah [Methods of calculation and analysis of current and voltage asymmetry indicators in rural distribution networks]. L.: LSKHI, 1984.

6. Lukina, G.V. et al. Ustrojstvo dlya simmetrirovaniya tokov i napryazhenij v trekhfaznoj seti s nulevym provodom i samoreguliruemoj induktivnost'yu [A device for balancing currents and voltages in a three-phase network with a zero wire and self-regulating inductance]. Svidetel'stvo na poleznuyu model' № 26699: (51) MPK 7 N 02 J 3/26. Vydano 03.06.2002 s formuloy: (21)2002114471/20.

7. Naumov, I.V. et al. Simmetriruyushchee ustrojstvo dlya trekhfaznyh setej s nulevym provodom [Symmetrical device for three-phase networks with zero wire]. Patent na izobretenie RU2490768 C2, 20.08.2013. Zayavka №2010144245/07 ot 28.10.2010.

8. Naumov, I.V. et al. Issledovanie i analiz dopolnitel'nyh poter' moshchnosti i kachestva elektricheskoy energii v sel'skih raspreditel'nyh setyah napryazheniem 0,38 kV pri nesimmetrichnoj nagruzke [Research and analysis of additional losses of power and quality of electric energy in rural distribution networks with a voltage of 0.38 kV at an asymmetric load]. Otchet o NIR, 2006, 56 p.

9. Naumov, I.V. et al. Kachestvo elektricheskoy energii i snizhenie dopolnitel'nyh poter' moshchnosti v elektricheskikh setyah [The quality of electrical energy and reduction of additional power losses in electrical networks]. Vestnik IrGSHA, 2009, no. 37, pp. 83-88.

10. Podyachikh, S.V. Normalizatsiya kachestva elektricheskoy energii v sel'skih setyah 0.38kv pri nesimmetrichnoj nagruzke dlya snizheniya energeticheskikh poter' [Normalization of the quality of electric energy in rural networks of 0.38 kv with an asymmetric load to reduce energy losses]. Diss. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tekhn. nauk / Irkutsk, 2003, 244 p.

Дата поступления в редакцию 25.09.2022, дата принятия в печать 30.09.2022.

#### **Сведения об авторе**

**Подьячих Сергей Валерьевич** – кандидат технических наук, доцент, кафедра “Электроснабжения и электротехники”. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89021761226, e-mail: psv78@yandex.ru).

#### **Information about author**

**Podyachikh Sergey V.** – Candidate of Technical Sciences, Ass. Prof. of the Department of “Power Supply and Electrical Engineering”. FSBEI HE Irkutsk SAU (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 89021761226, e-mail: psv78@yandex.ru).

УДК 629.02

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЕЯЛКИ СЗП-3.6 ДЛЯ ПОСЕВА В ГРЯДЫ

Г.Н. Поляков, Н.Н. Аникиенко, Г.С. Самусик

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

*п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия*

Стратегией развития сельскохозяйственного машиностроения на период до 2030 года от 7 июля 2017 г. № 1455-р необходимо обеспечивать рост производства отечественной сельскохозяйственной продукции, технических средств и снижать уровень импортозависимости за счет внедрения и использования новых технологий при взаимодействии с наукой.

Для реализации эффективных способов посева и технических систем Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере разработан проект 11071 ГУ/2016 (20.02.2017 года) стратегии развития посевных машин, адаптированных к климатическим условиям Сибири.

Для Иркутской области характерен короткий период вегетации растений, зерновые культуры необходимо сеять как можно раньше и в сжатые сроки. При раннем высеве семена попадают во влажную, но не прогретую почву, и прорастание их задерживается.

Анализ посевных машин и комплексов выявил, что их рабочие органы – сошники не в полной мере адаптированы к почвенно-климатическим условиям посева в регионе. Заслуживает внимания сошниковая группа ПК “ДМС”, которая образует «теплую» бороздку.

Экспериментальные исследования, проведенные в Иркутском ГАУ при посеве зерновых в гряды, выявили, что почва в рядках под влиянием солнечной радиации прогревается быстрее и всходы появляются на 3 - 4 дня раньше.

Гряда, образованная над семенами, увеличивает площадь освещения на 35-40% и способствует их прогреву. В тоже время гряда препятствует испарению почвенной влаги.

В статье предложена модернизация распространенной в области сеялки СЗП-3,6 для посева в гряды. В сеялке использованы конструктивные изменения двухдискового сошника разработанные в Оренбургском ГАУ и расстановка сошников, предложенная исследователями Иркутского ГАУ для посева в гряды, в которых обеспечивается активный тепловой режим и влагосбережение почвенной влаги в течении всего срока развития растений.

*Ключевые слова:* сеялка СЗП-3.6, зерновые культуры, посев, гряды, солнечная радиация.

## IMPROVEMENT OF THE SZP-3.6 SEEDER FOR SOWING IN THE GRID

**Polyakov G.N., Anikienko N.N., Samusik G.S.**

FSBEI HE Irkutsk SAU

*Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia*

The strategy for the development of agricultural engineering for the period up to 2030 dated July 7, 2017 No. 1455-r is necessary to ensure the growth in the production of domestic agricultural products, technical equipment and reduce the level of import dependence through the introduction and use of new technologies in cooperation with science.

To implement effective sowing methods and technical systems, the Fund for Assistance

to the Development of Small Forms of Enterprises in the Scientific and Technical Sphere developed project 11071 GU / 2016 (20.02.2017) of a strategy for the development of sowing machines adapted to the climatic conditions of Siberia.

The Irkutsk region is characterized by a short period of vegetation of plants, crops must be sown as early as possible and in a short time. With early sowing, seeds fall into moist, but not warmed soil, and their germination is delayed.

The analysis of sowing machines and complexes revealed that their working bodies - coulters are not fully adapted to the soil and climatic conditions of sowing in the region. Noteworthy is the coulters group of the PK "DMS", which forms a "warm" groove.

Experimental studies carried out in the Irkutsk State Agrarian University when sowing grain in ridges revealed that the soil in rows under the influence of solar radiation warms up faster and seedlings appear 3-4 days earlier.

The ridge formed above the seeds increases the area of illumination by 35-40% and contributes to their heating. At the same time, the ridge prevents the evaporation of soil moisture.

The article proposes the modernization of the SZP-3.6 seeder, which is widespread in the region, for sowing in ridges. The seeder used constructive changes in the double-disk coulters developed at the Orenburg State Agrarian University and the arrangement of coulters proposed by the researchers of the Irkutsk State Agrarian University for sowing in ridges, which provide an active thermal regime and moisture conservation of soil moisture throughout the entire period of plant development.

*Keywords:* seeder SZP-3.6, crops, sowing, ridges, solar radiation.

**Введение.** Согласно Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года в нашей стране необходимо обеспечить стабильный рост производства отечественной сельскохозяйственной продукции, технических средств и снижение уровня импортозависимости за счет внедрения и использования эффективных технологий [1].

Одним из направлений развития сельскохозяйственного машиностроения является совершенствование технических средств для посева зерновых культур, адаптированных к условиям региона.

Для Иркутской области характерны короткий вегетационный период и часто повторяющиеся весенне-летние засухи. Существующие посевные машины не в полной мере обеспечивают заданную глубину заделки семян, контакт семян с влажной почвой и влагосберегающие приемы посева. При ранних сроках посева необходимо обеспечить согревание почвы над семенами солнечной радиацией.

Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные в ряде хозяйств Иркутской области, позволили изыскать эффективный способ посева зерновых в гряды и повысить урожайность [3, 4, 5, 6].

Перед учеными и практиками возникла техническая задача – модернизировать наиболее распространенную в Иркутской области сеялку типа СЗП-3.6 для посева в гряды. Таким образом, необходимо реализовать влагосберегающие приемы посева и ускорить прорастание семян при ранних сроках посевной компании.

**Целью исследования** является повышение качества возделывания

зерновых культур путем разработки способа посева в гряды и модернизации прессовой сеялки СЗП-3.6, адаптированной к условиям Иркутской области.

**Задачи исследования:**

– провести анализ существующих способов посева зерновых культур и сошников;

– обосновать способ посева в гряды и применение рабочих органов.

**Методы исследования:** анализ способов посева зерновых колосовых культур и технических систем отечественного и зарубежного производства; экспериментальное исследование усовершенствованной сеялки для подпочвенно-разбросного посева в гряды.

**Результаты и обсуждения.** В настоящее время распространены следующие технологии возделывания зерновых культур: традиционная, минимальная и нулевая.

Посевные машины, которыми сейчас производится посев, отличаются друг от друга, как техническим исполнением, так и реализуемыми ими способами посева. Существуют следующие способы посева зерновых культур: рядовой, узкорядный, перекрестный, подпочвенно-разбросной полосной, гребневой, грядовой [10].

При рядовом способе посева семена высевают рядами с расстоянием междурядий 15 см. При посеве узкорядным способом сошник высевает семена в два узких ряда с шириной между рядами 7-8 см. При перекрестном способе посева семена высеваются рядовым способом, одну половину семян высевают рядами в одном направлении, а вторую в перпендикулярном, с шириной междурядий 12-15 см. При этом норму высева снижают в два раза. При данном способе семена более равномерно распределяются по площади питания [2, 7].

При подпочвенно-разбросном полосном способе посева с помощью разбрасывателя, находящегося снизу лапового сошника, семена полосой распределяются по всей площади подлапного пространства с шириной междурядий 23 см [12].

Недостатком рассмотренных способов посева и рабочих органов является то, что они образуют бороздки при ранних сроках посева с недостаточным прогревом почвы с семенами солнечной радиацией и неэффективно используют почвенную влагу в течение вегетационного периода.

Из многообразия сошниковых групп “теплую” бороздку образует сошники посевного комплекса “ДМС”, за счет создания почвенной гряды над семенами [8, 9, 11].

Результатами экспериментальных исследований переоборудованной сеялки СЗС-2.1 для высева семян в гряды доказана эффективность данного способа посева. Конструктивные изменения у сеялки СЗС-2.1 сводились к смещению сошников на поперечных балках относительно катков с клиновидным ободом (рис. 1).





Рисунок 1 – Экспериментальная сеялка для посева зерновых в ряды

При посеве экспериментальной сеялкой сошники раскрывают бороздку и семена высеваются полосой. Катки, идущие сзади сошников, вдавливают почву и образуют ряды, в результате чего семена располагаются под гребнем. За счет увеличения дневной поверхности почвы над семенами ускоряется прогрев семян в ряду.

В результате проведенных исследований доказано, что температура почвы в ряду на 3-4 градусов выше, чем температура почвы при рядовом посеве. За счет повышения теплового режима ускоряется появление всходов на 3-4 дня, что приводит к росту урожайности культуры.

Проведенный анализ технических средств для посева позволил предложить модернизацию сошниковой группы сеялки СЗП-3.6 для посева в ряды, которая базируется на разработке ФГБОУ ВО Оренбургского ГАУ и результатах исследования, проведенного в ФГБОУ ВО Иркутском ГАУ.

Эффективность сеялки марки СЗП-3.6 обеспечивается за счет оснащения дискового сошника съемной прижимной пластиной, которая выравнивает семенное ложе, образует капилляры и улучшает контакт семян с влажной почвой, обеспечивая равномерную глубину заделки (рис. 2).

Применение сошника данной конструкции позволило увеличить урожайность зерновых культур на 13-15% по сравнению со стандартными двухдисковыми сошниками.

Применение данной конструкции сошника, по нашему мнению, не позволяет активно согревать почву с семенами солнечной радиацией, так как

рядок высеянных семян закрыт гребнями.

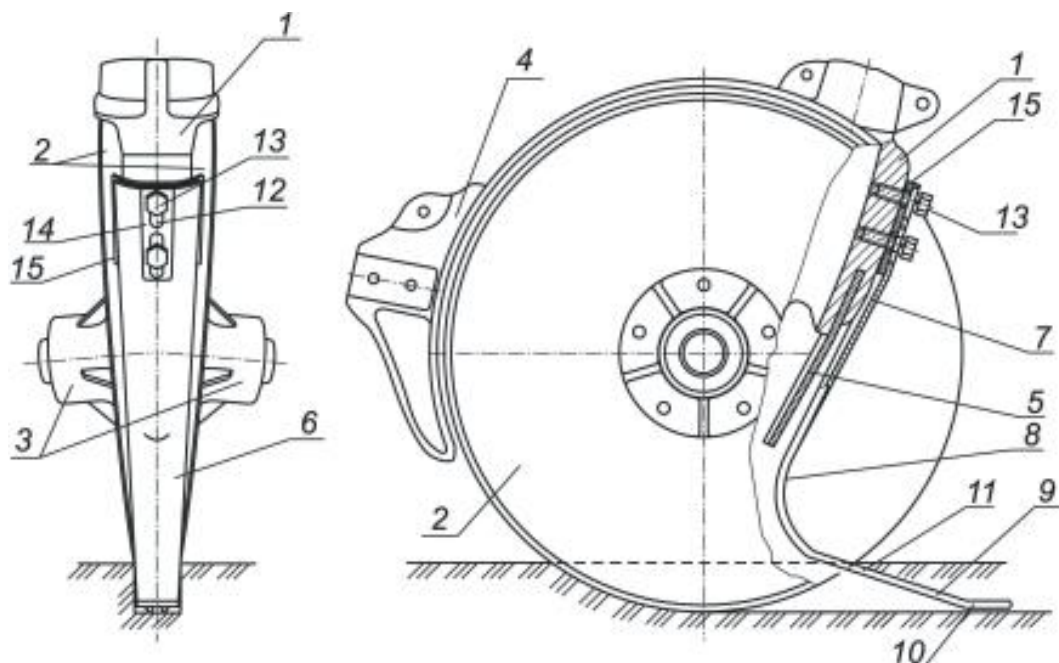


Рисунок 2 – Сошник с прижимной пластиной

- 1 – корпус сошника, 2 – плоские диски, 3 корпус подшипников, 4 – поводок,  
 5 – направитель семян, 6 – прижимная пластина, 7 – верхняя часть прижимной пластины,  
 8 – криволинейный участок пластины, 9 – прямой наклонный участок пластины,  
 10 – прижимной элемент, 11 – выступающая часть пластины, 12 – отверстие крепления пластины,  
 13 – болты крепления пластины, 14 – площадка, 15 – фиксирующая пластина.

Основываясь на результатах исследования экспериментальной сеялки СЗС-2.1 (рис. 1), предлагается образовать гряду почвы над семенами путем смещения катков на раме сеялки СЗП-3.6 на величину 0.075 м. Предложенное конструктивное решение позволит сформировать гряду размерами: в основании 0.15 м, высотой 0.06 м. При этом площадь дневной поверхности гряды над семенами увеличится на 35-40% в сравнение с рядовым посевом (рис. 3).

**Выводы.** Анализ существующих способов посева позволил выявить недостаточный прогрев солнечной радиацией почвы над семенами, что указывает на то, что данные способы не адаптированы при ранних сроках посева в регионе. Из существующих сошниковых групп “теплую” бороздку образуют сошники посевного комплекса “ДМС” за счет создания почвенного гребня над семенами. В результате экспериментального исследования сеялки с лаповыми сошниками для подпочвенно-разбросного способа посева в гряды доказано, что тепловой режим в гряде на 3-4 градуса выше, чем при рядовом посеве, что ускоряет прорастание семян на 3-4 дня.

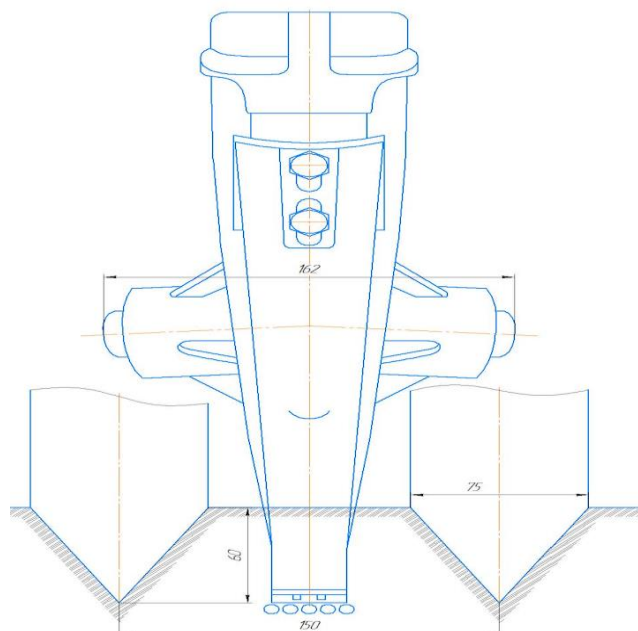


Рисунок 3 – Формирование и размеры гряды модернизированной сеялки СЗП-3.6

Модернизирована посевная сеялка СЗП-3.6 для посева в гряды с параметрами гряды: ширина в основании 0.15 м, высота 0.06 м и ширина верхней части гребня 0.07 м. Применение усовершенствованной посевной машины позволит увеличить площадь дневной поверхности гряды на 35-40% по сравнению с рядовым посевом, что позволит повысить урожайность зерновых культур.

#### Список литературы

1. Об утверждении Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 07.07.2017 № 1455-р – Электрон. текстовые дан. // КонсультантПлюс : справ. правовая система.
2. Болоев, П.А. Оценка глубины заделки семян зерновых культур посевными комплексами / П.А. Болоев, Г.Н. Поляков, С.Н. Шуханов // Пермская ГСХА: Пермский аграрный вестник. – 2016. – № 1 (13). – С. 45-50.
3. Поляков, Г.Н. Анализ работы сеялки для посева зерновых культу в гряды / Г.Н. Поляков, А.В. Косарева // Матер. X междунар. научно-практ. конф. “Климат, экология, сельское хозяйство Евразии”. – Молодежный, 2021. – С. 96-97.
4. Поляков, Г.Н. Распределение семян по глубине при посеве различными типами сошников / Г.Н. Поляков, С.Н. Шуханов, Д.А. Яковлев // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2019. – №31. – С. 13-22.
5. Поляков, Г.Н. Ресурсосберегающая технология возделывания зерновых культур / Г.Н. Поляков, С.Н. Шуханов, И.А. Савченко, Н.Н. Аникиенко // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК. Матер. IX Национ. научно-практ. конф. с междунар. участием. – Молодёжный, 2021. – С. 71-77.
6. Поляков, Г.Н. Ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур в условиях Восточной Сибири / Г.Н. Поляков, С.Н. Шуханов, П.А. Болоев // Саратовский ГАУ: Аграрный научный журнал. – 2015. – № 10. – С. 31-35.
7. Самусик, Г.С. Распределение семян по глубине различными типами посевных

машин / Г.С. Самусик // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона. Сб. научных тезисов студентов. – Молодежный, 2021. – С. 151-152.

8. Система ведения сельского хозяйства Иркутской области / Я.М. Иванько, Н.Н. Дмитриев, Д.С. Адушинов и др. в 2 частях. – Иркутск: Мегапринт, 2019. - Ч. 2. – 321 с.

9. Солодун, В.И. Сельскохозяйственные машины и орудия для возделывания зерновых культур по ресурсосберегающим технологиям в условиях Иркутской области / В.И. Солодун и др. – Иркутск: Изд-во Иркутская ГСХА, 2012. – 148 с.

10. Халанский, В.М. Сельскохозяйственные машины / В.М. Халанский, И.В. Горбачев. – М.: КолосС, 2004. – 624 с.

11. Чернышева, Е. Крупные компании в поисках новых идей // Агротехника и технологии. – 3(85) май-июнь 2021. – С. 18-22.

12. Яковлев, Д.А. Энергетическая оценка сошников при работе посевных агрегатов в условиях различной влажности почвы степной зоны Сибири : Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Яковлев Даниил Александрович; Алтайский ГАУ. – Барнаул, 2022. – 20 с.

### References

1. Ob utverzhdenii Strategii razvitiya sel'skohozyajstvennogo mashinostroeniya Rossii na period do 2030 goda: Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 07.07.2017 № 1455-r [On approval of the Strategy for the development of agricultural engineering in Russia for the period up to 2030: Decree of the Government of the Russian Federation dated 07.07.2017, no. 1455-r]. ConsultantPlus.

2. Boleev, P.A. et al. Ocenka glubiny zadelki semyan zernovykh kul'tur posevnymi kompleksami [Estimation of the depth of sowing seeds of grain crops with sowing complexes]. Permskaya GSKHA: Permskij agrarnyj vestnik, 2016, no. 1 (13), pp. 45-50.

3. Polyakov, G.N., Kosareva, A.V. Analiz raboty seyalki dlya poseva zernovykh kul'tu v gryady [Analysis of the work of a seeder for sowing grain crops in the ridges]. Molodezhnyj, 2021, pp. 96-97.

4. Polyakov, G.N. et al. Raspredelenie semyan po glubine pri poseve razlichnymi tipami soshnikov [Depth distribution of seeds when sowing with different types of coulters]. Aktual'nye voprosy agrarnoj nauki, 2019, no. 31, pp. 13-22.

5. Polyakov, G.N. et al. Resursosberegayushchaya tekhnologiya vozdelvaniya zernovykh kul'tur [Resource-saving technology of cultivation of grain crops]. Molodezhnyj, 2021, pp. 71-77.

6. Polyakov, G.N. et al. Resursosberegayushchie tekhnologii vozdelvaniya zernovykh kul'tur v usloviyah Vostochnoj Sibiri [Resource-saving technologies for the cultivation of grain crops in the conditions of Eastern Siberia]. Saratovskij GAU: Agrarnyj nauchnyj zhurnal, 2015, no. 10, pp. 31-35.

7. Samusik, G.S. Raspredelenie semyan po glubine razlichnymi tipami posevnykh mashin [Depth distribution of seeds by different types of sowing machines / G.S. Samusik]. Molodezhnyj, 2021, pp. 151-152.

8. Sistema vedeniya sel'skogo hozyajstva Irkutskoj oblasti [System of agriculture in the Irkutsk region]. Ivanyo, Ya.M. et al. Irkutsk, 2019, part 2, 321 p.

9. Solodun, V.I. et al. Sel'skohozyajstvennye mashiny i orudiya dlya vozdelvaniya zernovykh kul'tur po resursosberegayushchim tekhnologiyam v usloviyah Irkutskoj oblasti [Agricultural machines and tools for cultivating grain crops using resource-saving technologies in the conditions of the Irkutsk region]. Irkutsk, 2012, 148 p.

10. Khalansky, V.M., Gorbachev I.V. Sel'skohozyajstvennye mashiny [Agricultural machines]. Moscow: KolosS, 2004, 624 p.

11. Chernysheva, E. Krupnye kompanii v poiskah novykh idej [Large companies in search of new ideas]. Agrotekhnika i tekhnologii, no. 3 (85), 2021, pp. 18-22.

12. Yakovlev, D.A. Energeticheskaya ocenka soshnikov pri rabote posevnykh agregatov v usloviyah razlichnoj vlazhnosti pochvy stepnoj zony Sibiri [Energy assessment of coulters during

the operation of sowing units in conditions of different soil moisture in the steppe zone of Siberia].  
Avtoref. dis. ... kand. tekhn. Nauk, Barnaul, 2022, 20 p.

Дата поступления в редакцию 24.09.2022, дата принятия в печать 30.09.2022.

#### **Сведения об авторах**

**Поляков Геннадий Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры технического обеспечения АПК инженерного факультета. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89025669965, e-mail: SXM1953@mail.ru).

**Аникиенко Николай Николаевич** – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической безопасности и предпринимательства, института экономики, управления и прикладной информатики, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89041443777, e-mail: anikienkonikolai@mail.ru).

**Самусик Георгий Сергеевич** – магистрант направления подготовки 35.04.06 – Агроинженерия инженерного факультета. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89025669965, e-mail: SXM1953@mail.ru).

#### **Information about the authors**

**Polyakov Gennadiy N.** – Candidate of Technical Sciences, Ass. Prof. of the Department of Technical Support of the Agroindustrial Complex of the Faculty of Engineering. FSBEI HE Irkutsk SAU (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 89025669965, e-mail: SXM1953@mail.ru).

**Anikienko Nikolai N.** – Candidate of Technical Sciences, Ass. Prof. of the Department of Economic Security and Entrepreneurship, Institute of Economics, Management and Applied Informatics, FSBEI HE Irkutsk SAU (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 89041443777, e-mail: anikienkonikolai@mail.ru).

**Samusik Georgiy S.** – Master Student of the Direction of Preparation 35.04.06 – Agroengineering of the Faculty of Engineering. FSBEI HE Irkutsk SAU (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 89025669965, e-mail: SXM1953@mail.ru).

УДК 623.618

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФОРМЫ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ ФРОНТАЛЬНОГО ПРОКАЛЫВАТЕЛЯ-ЩЕЛЕРЕЗА**

**Р.О. Сурин, С.В. Щитов, Е.Е. Кузнецов**

ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ  
*г. Благовещенск, Россия*

В статье приведено обоснование формы лучеобразных прокалывающих разуплотняющих рабочих органов для фронтального прокалывателя-щелереза. В целях повышения эффективности процессов обработки земли в сельском хозяйстве Амурской области предложено внедрить в производственный процесс возделывания сельскохозяйственных культур фронтальный прокалыватель-щелерез, который при обработке почвы обладает невысоким тяговым сопротивлением и не требует значительного тягового усилия от агрегирующего колёсного полурамного энергетического средства. Установлено, что при установке на фронтальную часть колёсного полурамного трактора

предлагаемого фронтального прокалывателя-щелереза появилась возможность увеличения эффективности машинно-тракторного агрегата посредством снижения буксования передних колёс полурамного трактора при снижении потерь на перекачивание фронтального агрегата с лучеобразными рабочими органами по поверхности почвы. При этом компенсируется тяговое сопротивление сельскохозяйственного орудия и создается толкающее усилие, снижается сопротивление на перекачивание сельскохозяйственного орудия. Доказано, что для эффективной работы трактора с установленным фронтально разуплотняющим орудием, наиболее подходящей формой рабочего прокалывающего органа будет такая форма, которая обеспечит наименьшее сопротивление заглублению рабочего прокалывающего органа в почву. Для того чтобы достичь желаемого результата форма рабочего органа должна обеспечивать наибольшее заглубление всей её рабочей части через одну точку встречи с поверхностью земли. В результате получена теоретическая зависимость, которая позволяет получить наилучший радиус рабочей части прокалывателя в зависимости от длины прокалывающих элементов и глубины необходимого рыхления или прокалывания почвы.

*Ключевые слова:* колёсный полурамный трактор, фронтальный прокалыватель-щелерез, лучеобразные формы, энергоэффективность.

## **RATIONALE FOR THE CHOICE OF THE FORM OF WORKING BODIES FOR THE FRONT PIERCING-CUTTER**

**Surin R.O., Shitov S.V., Kuznetsov E.E.**

FSBEI HE Far Eastern SAU  
*Blagoveshchensk, Russia*

The article provides a rationale for the form of ray-shaped piercing decompressing working bodies for a frontal piercer-slit cutter. In order to increase the efficiency of land cultivation processes in agriculture of the Amur Region, it is proposed to introduce a frontal slotted piercer into the production process of cultivating crops, which, when cultivating the soil, has low traction resistance and does not require significant traction from the aggregating wheeled semi-frame power tool. It has been established that when installing the proposed frontal piercer-slit on the front part of the wheeled semi-frame tractor, it became possible to increase the efficiency of the machine-tractor unit by reducing the slipping of the front wheels of the semi-frame tractor while reducing losses due to rolling of the frontal unit with ray-shaped working bodies on the soil surface. At the same time, the traction resistance of the agricultural implement is compensated and a pushing force is created, the resistance to rolling of the agricultural implement is reduced. It has been proven that for the efficient operation of a tractor with a frontally deconsolidating implement, the most appropriate shape of the working piercing body will be the one that will provide the least resistance to the penetration of the working piercing body into the soil. In order to achieve the desired result, the shape of the working body should provide the greatest penetration of its entire working part through one meeting point with the earth's surface. As a result, a theoretical dependence was obtained, which allows obtaining the best radius of the working part of the piercer, depending on the length of the piercing elements and the depth of the required loosening or piercing of the soil.

*Keywords:* wheeled semi-frame tractor, frontal slotted piercer, radiant shapes, energy efficiency.

**Введение.** Амурская область, расположенная на юго-востоке Российской Федерации, в силу своего географического расположения и умеренно-влажных климатических условий является одним из крупнейших производителей сельскохозяйственной продукции в Дальневосточном федеральном округе.

Вместе с тем на всей территории области наблюдаются следующие климатические особенности: недостаток влаги весной, во время посевных работ и летний максимум выпадения осадков во время уборки урожая, особенно с июня по август, когда выпадает до 70% ежегодной нормы осадков [10].

Особенности агроклиматических условий в различных районах области позволяют возделывать разнообразные сельскохозяйственные культуры, в основном с коротким сроком активной жизнедеятельности растений [6]. Учитывая ранее раскрытые климатические особенности региона, наиболее значимым является обязательное включение в перечень необходимых ежегодных полевых операций основной обработки почвы операции щелевания, позволяющей отвести подпочвенную влагу в более глубокие подпочвенные слои [1, 2, 5].

**Целью работы** является математическое обоснование формы и расположения прокалывающих рабочих органов для опытного прокалывателя-щелереза, оптимально соответствующих заданным характеристикам и обеспечивающих минимальные колебательные реакции при прокалывании в ходе полевых работ.

**Основные результаты.** В сложившейся ситуации, от современных технологий обработки почвы требуется в качестве главного направления развития агропромышленного комплекса минимизировать количество проходов сельскохозяйственной техники по полю, что возможно за счёт внедрения в производственный процесс комбинированных посевно-разуплотняющих машин.

В результате патентного поиска, проведённого на основе анализа работ авторов [3, 9] к исследованию и опытному внедрению была предложена принципиальная конструкция фронтального прокалывателя-щелереза по патенту РФ № 2754595 (рис. 1). Конструкция отличается новизной, изобретательским уровнем, промышленной применимостью и полностью соответствует прогнозируемым технологическим характеристикам перспективного машинно-тракторного агрегата (МТА). Некоторые теоретические исследования предлагаемой конструкции приведены в работах [7, 8].

Конструктивные особенности лучеобразных разуплотняющих рабочих органов предлагаемого фронтального прокалывателя-щелереза при перекачивании и заглублении в почву формируют ровную пунктирную воронкообразную линию разреза поверхностного почвенного пласта, что позволяет отводить лишнюю влагу из прилегающих к разрезу слоёв и увеличить её запасы в подпочвенном слое. Таким образом, улучшаются условия жизнедеятельности растений, что позволяет повысить их урожайность [4].

Предлагаемая форма контура лучеобразных рабочих частей (прокалывающих игл) фронтального прокалывателя-щелереза является одной из основных конструктивных параметров, влияющих на качество работы



сельскохозяйственной техники с предлагаемой агрегатируемой конструкцией. Именно такая геометрическая форма лучеобразных разуплотняющих рабочих органов при таких же других параметрах и режимах работы в значительной степени будет определять кинематику взаимодействия фронтального прокальвателя-щелереза с почвой, а, следовательно, и качество его работы.

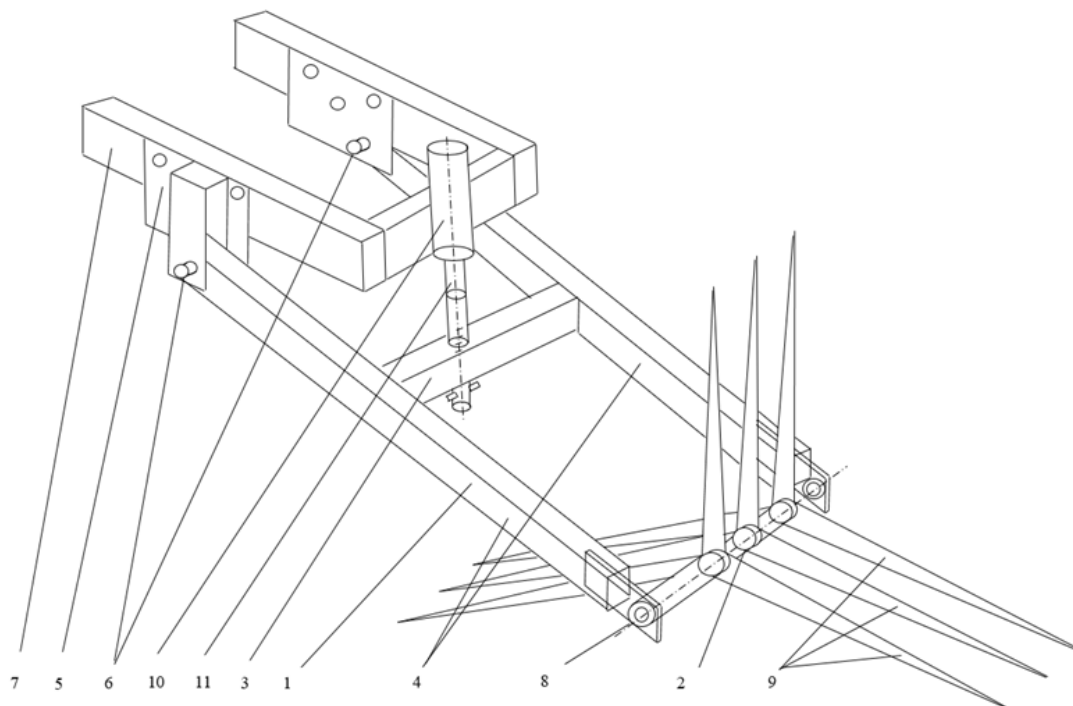


Рисунок 1 – Фронтальный прокальватель-щелерез

1 – рама, 2 – передняя фронтальная поперечная трубчатая тяга, 3 – нагружающая-поддерживающая поперечная профильная тяга, 4 – две продольные профильные тяги, 5 – косыночные упоры, 6 – силовые шарниры, 7 – передняя полурама трактора, 8 – подшипниковые узлы, 9 – лучеобразные прокальвающие рабочие органы, 10 – нагружающий гидроцилиндр, 11 – рабочий шток.

В результате оптимальной формой лучеобразных разуплотняющих рабочих органов предлагаются конусные формы игл (рис. 2).

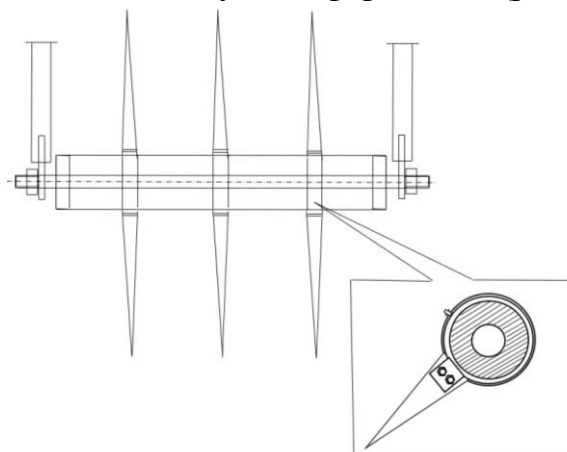


Рисунок 2 – Предлагаемая форма лучеобразных разуплотняющих рабочих органов



При этом в качестве главного критерия необходимо принять величину угла входа рабочих прокалывающих органов – игл в почву, а максимальную глубину обрабатываемой поверхности – в качестве дополнительного критерия.

Угол оптимального входа рабочего разуплотняющего прокалывающего органа  $E_n$  в почву будет равен:

$$E_n = \arccos \frac{R_H - h}{R_H}, \quad (1)$$

где  $R_H$  – радиус оборота лучеобразных разуплотняющих рабочих органов вокруг оси;  $h$  – глубина входа лучеобразных игл в почву, м.

Однако с точки зрения кинематики угол вхождения конусообразных игл в почву будет напрямую зависеть только от соотношения:

$$\frac{R_H - h}{R_H}. \quad (2)$$

При использовании предлагаемых лучеобразных разуплотняющих рабочих органов (рис. 3) уравнения движения точки  $C$  примет вид:

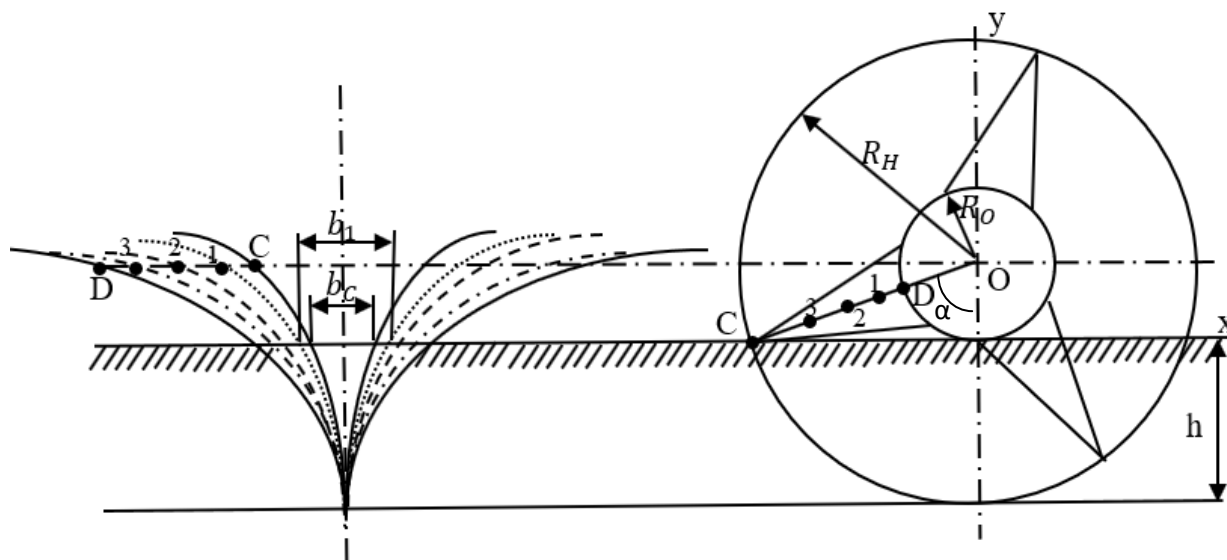


Рисунок 3 – Траектории и точки (C) и (D) конусообразных игл при взаимодействии с почвенной средой

$$\begin{aligned} x &= R_H(1 - R_0) \sin \alpha, \\ y &= (R_H - R_0) \cos \alpha, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $R_0$  – радиус оси передней фронтальной поперечной трубчатой тяги (рис. 1).

Исходя из этого, площадь участка поверхности почвы, обрабатываемой конусообразными иглами за один оборот передней фронтальной поперечной

трубчатой тяги, можно определить аналитически по координатам точек пересечения соответствующих циклоид с прямой. В результате  $y = h$ .

Тогда для точки  $C$  значения будут иметь вид:

$$x_C = R_H \arccos\left(1 - \frac{h}{R_H}\right) - \sin \arccos\left(1 - \frac{h}{R_H}\right). \quad (4)$$

После некоторых внесенных изменений в уравнение (4) получим:

$$x_C = R_H \arccos\left(\frac{R_H - h}{R_H}\right) - \sqrt{2R_H h - h^2}. \quad (5)$$

А для точки  $D$  уравнение будет выглядеть так:

$$x_D = R_H \arccos\left(\frac{R_H - h}{R_0}\right) - R_0 \sin \arccos\left(\frac{R_H - h}{R_0}\right). \quad (6)$$

Заменив в уравнении (6) расстояния от центра до описывающих ранее точек в общем виде уравнение можно записать и для точек 1, 2 и 3:

$$x_1 = R_H \arccos\left(\frac{R_H - h}{b_1}\right) - b_1 \sin \arccos\left(\frac{R_H - h}{b_1}\right). \quad (7)$$

где  $b_i$  – ширина одного проделанного прокола в точке 1, м.

**Выводы.** Таким образом, полученная нами зависимость позволит более оптимально определить расположение точек установки и длину рабочей части лучеобразных рабочих органов на опытном образце фронтального прокалывателя – щелереза, что при взаимодействии с поверхностью почвы обеспечит минимальные колебательные реакции при прокалывании в ходе полевых работ. Также установлено, что предлагаемая форма лучеобразных органов является наиболее приемлемой для применения в рассматриваемом варианте сельскохозяйственного орудия.

#### Список литературы

1. Алдошин, Н.В. Выбор стратегий качественного выполнения механизированных работ / Н.В. Алдошин, Р.Н. Дидманидзе // Международный технико-экономический журнал. – 2013. – № 5. – С. 67.
2. Беляев В.И., Вольнов, В.В. Ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур в Алтайском крае. Монография: Барнаул: Алт.ГАУ, 2010. – 178 с.
3. Донцов, И.Е. Устойчивость движения МТА с орудиями фронтальной или задней навески / И.Е. Донцов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 9. – С. 31-34.
4. Кислов, А.А. Обоснование параметров и режимов работы дискового почвообрабатывающего орудия с игольчатыми рабочими органами: 05.20.01 – автореф. диссер. канд. техн. наук. – Благовещенск, 2006 г. – 10 с.
5. Кузнецов, Е.Е., Щитов, С.В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: Монография. Благовещенск, 2017. – 272 с.

6. Система земледелия Амурской области / Под общ. ред. П.В. Тихончука. – Благовещенск: Издательство ДальГАУ, 2016. – 570 с

7. Сурин, Р.О. Влияние установки прокальвателя-щелевателя на распределение нормальных реакций почвы и нагрузки на движители полурамного трактора / Р.О. Сурин, Е.Е. Кузнецов, С.В. Щитов, А.В. Бурмага, Л.В. Козлова [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. № 2. – Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/ STATYI/2021/2/st\\_217.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/2/st_217.pdf).

8. Сурин, Р.О. Перспективные конструктивные схемы сельскохозяйственных машин для проведения полевой обработки почвы / Р.О. Сурин [и др.] // Матер. 65-й Междунар. научная конф. Евразийского научного объединения “Теоретические и практические вопросы современной науки” (г. Москва, июль 2020). – № 7 (65). – Москва: ЕНО, 2020. – С. 117-120.

9. Щитов, С.В. Перераспределение сцепного веса в составе машинно-тракторного агрегата при проведении предпосевной обработки / С.В. Щитов [и др.] // Дальневосточный аграрный вестник. – 2017. – № 1 (41). – С. 88-95.

10. Ямкова, В.А. География и история Амурской области в вопросах и ответах: учеб. пособие / В.А. Ямкова // Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2015 г. – Часть 1. (Природа). – 232 с.

### **References**

1. Aldoshin, N.V., Didmanidze R.N. Vybór strategij kachestvennogo vypolneniya mekhanizirovannyh rabot [The choice of strategies for the qualitative performance of mechanized work]. Mezhdunarodnyj tekhniko-ekonomicheskij zhurnal, 2013, no. 5, pp. 67.

2. Belyaev, V.I., Volnov, V.V. Resursosberegayushchie tekhnologii vozdeleyvaniya zernovyh kul'tur v Altajskom krae [Resource-saving technologies of cultivation of grain crops in the Altai Territory]. Barnaul: Alt.GAU, 2010, 178 p.

3. Dontsov, I.E. Ustojchivost' dvizheniya MTA s orudiyami frontal'noj ili zadnej naveski [Stability of MTA movement with front or rear mounted guns]. Traktory i sel'skohozyajstvennyye mashiny, 2008, no. 9, pp. 31-34.

4. Kislov, A.A. Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty diskovogo pochvoobrabatyvayushchego orudiya s igol'chatymi rabochimi organami [Substantiation of parameters and modes of operation of a disk tillage tool with needle-like working organs]. Autoref. disser. Cand. of Technical Sciences. – Blagoveshchensk, 2006, 10 p.

5. Kuznetsov, E.E., Shields, S.V. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya mobil'nyh energeticheskikh sredstv v tekhnologii vozdeleyvaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur [Improving the efficiency of the use of mobile energy resources in the technology of cultivation of agricultural crops]. Blagoveshchensk, 2017, 272 p.

6. Sistema zemledeliya Amurskoj oblasti [The system of agriculture of the Amur region]. Pod obshch. red. P.V. Tihonchuka, Blagoveshchensk, 2016, 570 p.

7. Surin, R.O. et all. Vliyanie ustanovki prokalyvatel'ya-shchelevatel'ya na raspredelenie normal'nyh reakcij pochvy i nagruzki na dvizhiteli poluramnogo traktora [The influence of the installation of a perforator-slitte r on the distribution of normal soil reactions and the load on the propellers of a semi-frame tractor]. AgroEkoInfo: Elektronnyj nauchno-proizvodstvennyj zhurnal, 2021, no. 2, [http://agroecoinfo.ru/ STATYI/2021/2/ st\\_217.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/2/st_217.pdf).

8. Surin, R.O. et all. Perspektivnye konstruktivnye skhemy sel'skohozyajstvennyh mashin dlya provedeniya polevoj obrabotki pochvy [Perspective constructive schemes of agricultural machines for field tillage]. Moscow, 2020, pp. 117-120.

9. Shitov, S.V. et all. Pereraspredelenie scepного веса v sostave mashinno-traktornogo agregata pri provedenii predposevnoj obrabotki [Redistribution of coupling weight as part of a machine-tractor unit during pre-sowing processing]. Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik, 2017, no. 1 (41), pp. 88-95.

10. Yamkova, V.A. Geografiya i istoriya Amurskoj oblasti v voprosah i otvetah [Geography and history of the Amur region in matters of and answers: studies. Manua]. Blagoveshchensk:

Publishing House of BSPU, 2015, Part 1, 232 p.

Дата поступления в редакцию 06.09.2022, дата принятия в печать 30.09.2022.

#### **Сведения об авторах**

**Сурин Роман Олегович** – аспирант кафедры транспортно-энергетических средств и механизации агропромышленного комплекса факультета механизации сельского хозяйства. Дальневосточный государственный аграрный университет (675000, Россия, Благовещенск, тел. 8962-28-38-223, e-mail: roman\_surin81.81@mail.ru).

**Щитов Сергей Васильевич** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры транспортно-энергетических средств и механизации АПК. Дальневосточный государственный аграрный университет (675000, Россия, Благовещенск, тел. 8914-55-71-730, e-mail: shitov.sv1955@mail.ru).

**Кузнецов Евгений Евгеньевич** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры эксплуатации и ремонта транспортно-технологических машин и комплексов. Дальневосточный государственный аграрный университет (675000, Россия, Благовещенск, тел. 8961-95-23-270, e-mail: ji.tor@mail.ru).

#### **Information about authors**

**Surin Roman O.** – PhD-student of the Department of Transport and Energy Facilities and Mechanization of the Agro-Industrial Complex of the Faculty of Agricultural Mechanization. Far Eastern State Agrarian University (Blagoveshchensk, Russia, 675000, tel. 8962-28-38-223, e-mail: roman\_surin81.81@mail.ru).

**Shchitov Sergey V.** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport and Energy Means and Mechanization of the Agroindustrial Complex. Far Eastern Agrarian State University (Blagoveshchensk, Russia, 675000, tel. 89145571730, e-mail: tesi-mapk@dalgau.ru).

**Kuznetsov Evgeniy E.** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Operation and Repair of Transport and Technological Machines and Complexes. Far Eastern Agrarian State University (Blagoveshchensk, Russia, 675000, tel. 89619523270, e-mail: ji.tor@mail.ru).

УДК 338.46:621.31

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ ПРИ ЭНЕРГОМОНИТОРИНГЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

**А.Н. Третьяков, Г.С. Кудряшев, С.В. Батищев, А.Б. Гармаева**

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

*п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия*

Потери электроэнергии в электрических сетях и надежность работы электрооборудования являются одними из важнейших факторов, характеризующими работу энергетической системы, состояние системы учета энергоресурсов и эффективности энергоснабжающих сетевых организаций. Оба фактора при отрицательных значениях свидетельствует о существующих отклонениях, требующих незамедлительного вмешательства. Исправить положение в этой сфере можно путем реконструкции изношенных систем энергоснабжения и технической модернизации электрических распределительных сетей. Дополнительными методами и способами поддержания требуемой надежности и рационального использования электрооборудования являются: совершенствование применяемых технических средств и аппаратов управления, повышение измерения точности

показаний приборами учета электрической энергии и эксплуатационных свойств электрооборудования.

В настоящее время в бытовом потребительском секторе наблюдается весьма серьезная проблема. Дело в том, что имеет место тенденция уменьшения отпуска электрической энергии потребителям, что связано с увеличением основных потерь электрической энергии. Стоит отметить, что в Иркутской области за последние несколько десятилетий абсолютная величина потерь электрической энергии в распределительных электрических сетях находится на постоянном уровне (не более 11%).

В работе представлены результаты обследования комплектной трансформаторной подстанции, запитанной от подстанции “Сосновая” Усольского района Иркутской области. Для наглядного представления об объекте исследования показана однолинейная схема распределительной сети подстанции “Сосновая”. По итогам проведенных исследований сгруппирован массив данных по суточной нагрузке в летний и зимний сезоны. Обработанный материал позволил определить максимум и минимум нагрузок, а также построить суточный график изменения мощности в летний период.

*Ключевые слова:* электрическое потребление, суточный график нагрузки, надежность электроснабжения, потери электроэнергии, энергетический баланс.

## **OPTIMIZATION OF COSTS IN ENERGY MONITORING OF DISTRIBUTION NETWORKS**

**Tretyakov A.N., Kudryashev G.S., Batishchev S.V., Garmaeva A.B.**

FSBEI HE Irkutsk SAU

*Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia*

Electricity losses in electrical networks and the reliability of electrical equipment are one of the most important factors characterizing the operation of the energy system, the state of the energy resource accounting system and the efficiency of energy supply network organizations. Both factors with negative values indicate existing deviations that require immediate intervention. The situation in this area can be corrected by reconstructing worn-out power supply systems and technical modernization of electrical distribution networks. Additional methods and means of maintaining the required reliability and rational use of electrical equipment are: improving the applied technical means and control apparatus, increasing the measurement accuracy of readings by electrical energy metering devices and the operational properties of electrical equipment.

Currently, there is a very serious problem in the residential consumer sector. The fact is that there is a tendency to reduce the supply of electrical energy to consumers, which is associated with an increase in the main losses of electrical energy. It should be noted that in the Irkutsk region over the past few decades, the absolute value of electrical energy losses in distribution electrical networks has been at a constant level (no more than 11%).

The paper presents the results of a survey of a complete transformer substation powered by the Sosnovaya substation in the Usolsky district of the Irkutsk region. For a visual representation of the object of study, a single-line diagram of the distribution network of the Sosnovaya substation is shown. Based on the results of the studies, an array of data on the daily load in the summer and winter seasons was grouped. The processed material made it possible to determine the maximum and minimum loads, as well as to build a daily graph of power changes in the summer.

*Keywords:* electrical consumption, daily load schedule, power supply reliability, power losses, energy balance.

**Введение.** Для поддержания работоспособности распределительных сетей службами сетевых организаций проводятся периодические обследования сетей, на предмет определения сезонных нагрузок, загруженности трансформаторной подстанции (ТП) и надежности электрооборудования.

Проведение расчетов определения максимума и минимума нагрузок в зимний и летний период, выбор точек контроля параметров электрической энергии, определение центра питания распределительной сети, проведение измерения текущих нагрузок и параметров качества электроэнергии в выбранных точках является весьма актуальным для анализа эффективности использования электроэнергии потребителями.

Износ электросетевого хозяйства в нашей стране на сегодняшний день составляет порядка 64-70%. Такая ситуация приводит к значительному возрастанию потерь электрической энергии при ее передаче и распределению, снижению показателей надежности в распределительной сети в целом, а также возникновению аварийных ситуаций по всей системе. Восстановление износа всей инфраструктуры требует проведение ремонта и замены элементов сетей и электрооборудования, что в свою очередь способствует значительным затратам и вложению инвестиций. Для оценки реального состояния системы электроснабжения и последующего планового финансирования работ необходимо в обязательном первоочередном порядке провести детальное энергетическое обследование. Данное мероприятие позволит получить необходимые сведения о существующих проблемах и определить причины потерь электрической энергии выше нормированных значений [3-5].

Энергетический мониторинг электрических сетей позволяет решить ряд задач, основной из которых является разработка технических и организационных мероприятий по снижению потерь электроэнергии и оценка прогнозируемого значения снижения потерь электроэнергии в результате внедрения необходимых мероприятий [2].

**Материал и методы.** На рисунке 1 представлена схема распределительной сети подстанции (ПС) “Сосновая”, которая явилась объектом исследования.

При передаче и распределении электрической энергии потребителям характеристикой величины потерь является энергоэффективность. Работы по энергообследованию начаты с анализа энергобалансов по всем подстанциям 10/0.4 кВ и в целом по электрической сети от ПС “Сосновая” до потребителя. Для эффективного анализа потерь электрической энергии использована информация, представленная в работах [6-8].

Режим работы ПС в энергетической системе определяется суммарной фактической нагрузкой бытовых потребителей, что представляется в виде зависимости потребления мощности от времени. По временному признаку графики нагрузки на суточные, сезонные, годовые и т.п.

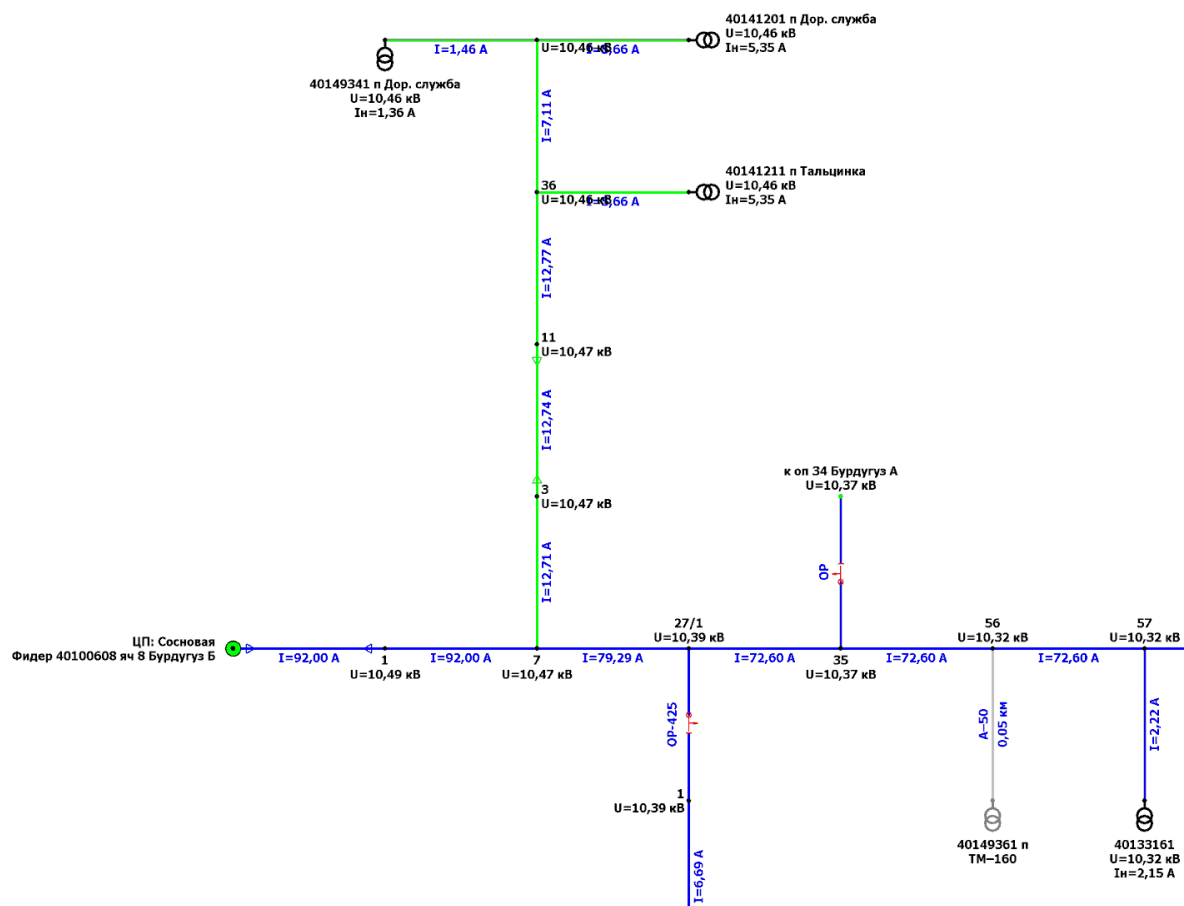


Рисунок 1 – Однолинейная схема распределительной сети ПС «Сосновая»

На основании проведенного обследования комплексной трансформаторной подстанции (КТП), питающихся от ПС “Сосновая” был составлен массив данных по нагрузке в течение суток в летние и зимние периоды. В дополнение определены режимы максимума и минимума нагрузок и построены графики изменения мощности, представленные на рисунке 2. Мощность в данном случае представлена в относительных единицах, для упрощения сравнения с другими графиками.

Для удобства расчетов график нагрузки выполнен в ступенчатом виде, на котором максимальная возможная суточная нагрузка принята равной 100%. По остальным значениям нагрузки в течение суток можно увидеть их относительное значение от максимума. Полученный таким образом график нагрузки для любого потребителя в замкнутой системе позволяет провести сравнительный анализ с типовыми графиками путем соотношения для каждой ступени графика. Для каждого потребителя электроэнергии приводится несколько суточных графиков, которые характеризуют его работу в разное время года и в течение недели. Таким образом, строятся графики зимних и летних суток для рабочих дней, график выходного дня и т.д.

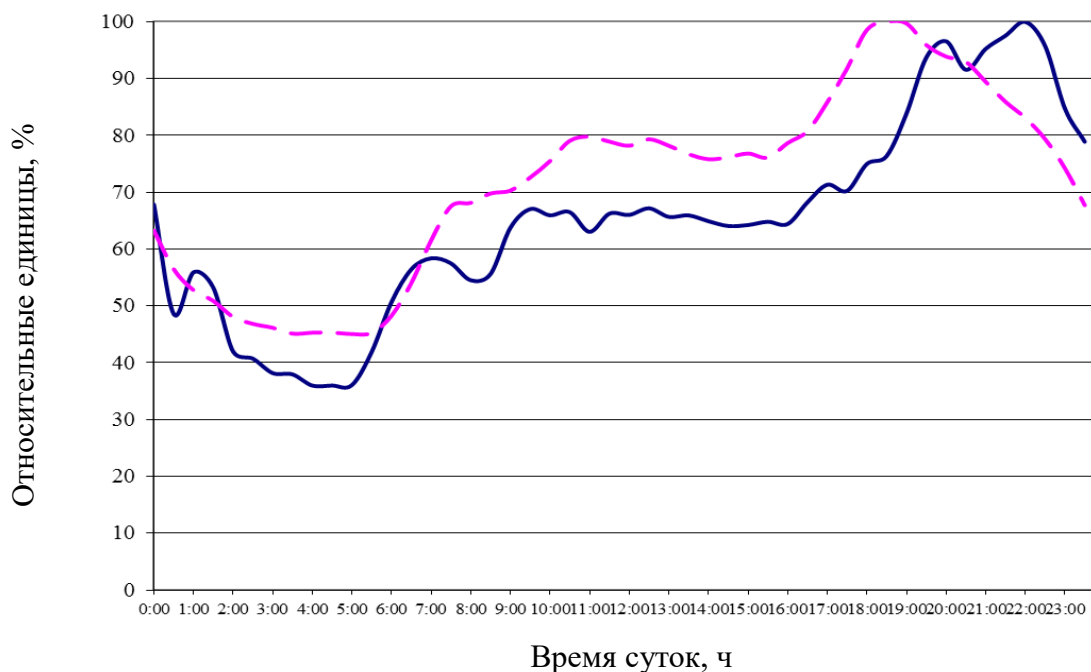


Рисунок 2 – График нагрузок для сельских потребителей (синяя линия – летний период, фиолетовая линия – зимний период)

Следующий этап обследования – это проведение контроля показателей качества электроэнергии (ПКЭ) в определенных точках. В большинстве случаев контроль проводят в точках присоединения потребителей. Целесообразно объединять суточные измерения и контроль ПКЭ, современный парк приборов позволяет сделать это.

Контроль ПКЭ необходимо проводить в точках электрической сети, к которым присоединяются электроприемники бытовых потребителей. При этом требования к КЭ устанавливаются в соответствии с нормативными требованиями на границах раздела балансовой принадлежности энергоснабжающей организации и потребителей. Разрешается в электрических распределительных сетях электросетевой организации производить измерения ПКЭ не во всех точках или центрах питания, а лишь в пунктах, являющихся характерными для всей электрической сети [9, 10].

**Выводы.** Обследование электрической сети ПС “Сосновая” позволило определить суточные зависимости мощностей при минимуме и максимуме нагрузок. Построенные графики выявили критические значения на КТП 10/0,4 кВ 40149361п. Для мониторинга параметров электрической энергии и ПКЭ необходимо поддерживать нормативные значения на данном КТП. При этом на других подстанциях контролируемые показатели также будут оставаться в норме. Предложенный метод позволяет сократить точки контроля и оптимизировать затраты при энергомониторинге распределительных сетей.



**Список литературы**

1. Батищев, С.В. Применение инноваций в решении вопросов энергосбережения на предприятиях АПК / С.В. Батищев, Г.С. Кудряшев, А.Н. Третьяков // Инновации в сельском хозяйстве. – 2016. – № 1 (16). – С. 66-68.
2. Кудряшев, Г.С. Инновации при снижении энергоемкости на предприятиях АПК на примере СХ ОАО “Белореченское” / Г.С. Кудряшев, А.Н. Третьяков, Р. Халымийн // Mongolian Journal of Agricultural Sciences. – 2015. – № 2. – С. 39-42.
3. Кудряшев, Г.С. Комплексный подход при оптимизации режимов работы электрических сетей предприятий АПК / Г.С. Кудряшев, А.Н. Третьяков, О.Н. Шпак // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 2 (101). – С. 63-66.
4. Кудряшев, Г.С. Комплексный подход при ресурсоэнергосбережении на предприятии АПК Иркутской области / Г.С. Кудряшев, А.Н. Третьяков, О.Н. Шпак // Вестник ИрГСХА. – 2016. – № 73. – С. 135-140.
5. Кудряшев, Г.С. Оценка параметров случайных отклонений напряжения в сельских электрических сетях / Г.С. Кудряшев, А.Н. Третьяков, П.Н. Билдагаров // Вестник ИрГСХА. – 2009. – № 37. – С. 73-77.
6. Кудряшев, Г.С. Потери электрической энергии в сетях 0,38 кВ, питающих сельскохозяйственную нагрузку / Г.С. Кудряшев, А.Н. Третьяков, О.Н. Шпак, С.С. Полякова // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2020. – № 34. – С. 19-27.
7. Кудряшев, Г.С. Снижение энергоемкости на предприятиях АПК на примере СХ ОАО “Белореченское” / Г.С. Кудряшев, А.Н. Третьяков, С.В. Батищев // Инновации в сельском хозяйстве. – 2018. – № 2 (27). – С. 127-131.
8. Рахмет, Х. Энергосбережение при производстве и переработке сельскохозяйственной продукции / Х. Рахмет, Г.С. Кудряшев, В.В. Федчишин, А.Н. Третьяков // Вестник ИрГТУ. – 2013. – № 5 (76). – С. 147-150.
9. Селезнев, А.С. Нормализация несинусоидальных режимов в электрических сетях / А.С. Селезнев, С.А. Кондрат, А.Н. Третьяков // Вестник ИрГТУ. – 2014. – № 8 (91). – С. 155-161.
10. Третьяков, А.Н. Влияние высших гармоник напряжения и тока на работу электрооборудования сельскохозяйственных предприятий / А.Н. Третьяков, Н.С. Логинов // Mongolian Journal of Agricultural Sciences. – 2015. – № 2. – С. 43-47.

**References**

1. Batishchev, S.V. et all. Primeneniye innovacij v reshenii voprosov energosberezheniya na predpriyatiyah APK [Application of innovations in solving energy saving issues at agribusiness enterprises]. Innovacii v sel'skom hozyajstve, 2016, no. 1 (16), pp. 66-68.
2. Kudryashev, G.S. et all. Innovacii pri snizhenii energoemkosti na predpriyatiyah APK na primere SKH ОАО “Belorechenskoe” [Innovations while reducing energy intensity at the enterprises of the agro-industrial complex on the example of agricultural enterprises of OJSC “Belorechenskoye”]. Mongolian Journal of Agricultural Sciences, 2015, no. 2, pp. 39-42.
3. Kudryashev, G.S. et all. Kompleksnyj podhod pri optimizacii rezhimov raboty elektricheskikh setej predpriyatij APK [An integrated approach to optimizing the operating modes of electrical networks of agribusiness enterprise]. Vestnik KrasGAU, 2015, no. 2 (101), pp. 63-66.
4. Kudryashev, G.S. et all. Kompleksnyj podhod pri resursoenergoberezhenii na predpriyatii APK Irkutskoj oblasti [An integrated approach to resource and energy saving at the enterprise of the agro-industrial complex of the Irkutsk region]. Vestnik IrGSKHA, 2016, no. 73, pp. 135-140.
5. Kudryashev, G.S. et all. Ocenka parametrov sluchajnyh odklonenij napryazheniya v sel'skikh elektricheskikh setyah [Estimation of parameters of random voltage deviations in rural electrical networks]. Vestnik IrGSKHA, 2009, no. 37, pp. 73-77.

6. Kudryashev, G.S. et all. Poteri ehlektricheskoy energii v setyah 0,38 kV, pitayushchih sel'skohozyajstvennyu nagruzku [Losses of electrical energy in networks of 0.38 kV supplying agricultural load]. Aktual'nye voprosy agrarnoy nauki, 2020, no. 34, pp. 19-27.

7. Kudryashev, G.S. et all. Snizhenie energoemkosti na predpriyatiyah APK na primere SKH OAO "Belorechenskoe" [Reduction of energy intensity at the enterprises of the agro-industrial complex on the example of agricultural enterprises of JSC "Belorechenskoye"]. Innovacii v sel'skom hozyajstve, 2018, no. 2 (27), pp. 127-131.

8. Rahmet, H. Energoberezhenie pri proizvodstve i pererabotke sel'skohozyajstvennoj produkcii [Energy saving in the production and processing of agricultural products]. Vestnik IrGTU, 2013, no. 5 (76), pp. 147-150.

9. Seleznev, A.S. Normalizaciya nesinusoidal'nyh rezhimov v elektricheskikh setyah [Normalization of non-sinusoidal modes in electrical networks]. Vestnik IrGTU, 2014, no. 8 (91), pp. 155-161.

10. Tret'yakov, A.N. Vliyanie vysshih garmonik napryazheniya i toka na rabotu elektrooborudovaniya sel'skohozyajstvennyh predpriyatij [The influence of voltage and current higher harmonics on the operation of electrical equipment of agricultural enterprises]. Mongolian Journal of Agricultural Sciences, 2015, no. 2, pp. 43-47.

Дата поступления в редакцию 24.09.2022, дата принятия в печать 30.09.2022.

#### **Сведения об авторах**

**Третьяков Александр Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения и теплотехники. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 8(3952)237-360, e-mail: tret'yakov\_alex@mail.ru).

**Кудряшев Геннадий Сергеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры энергообеспечения и теплотехники. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 8(3952)237-360, e-mail: kudryashev@list.ru).

**Батищев Сергей Валерьевич** – аспирант кафедры энергообеспечения и теплотехники. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 8(3952)237-360).

**Гармаева Арюна Баировна** – студент первого курса направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 8(3952)237-360).

#### **Information about authors**

**Tret'yakov Alexander N.** – Candidate of Technical Sciences, Ass. Prof. of the Department of Power Supply and Heat Engineering. FSBEI HE Irkutsk SAU (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 8(3952)237-360, e-mail: tret'yakov\_alex@mail.ru).

**Kudryashev Gennady S.** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Energy Supply and Heat Engineering. FSBEI HE Irkutsk SAU (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 8(3952)237-360, e-mail: kudryashev@list.ru).

**Batishchev Sergey V.** – PhD-student of the Department of Energy Supply and Heat Engineering. FSBEI HE Irkutsk SAU (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, 8(3952)237-360).

**Garmayeva Aryuna B.** – 1-st year Student of the Direction of Preparation 13.04.01 Thermal power Engineering and Heat Engineering. FSBEI HE Irkutsk SAU (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, 8(3952)237-360).

УДК 004.415.2: 631

**О НЕКОТОРЫХ ИТ-РАЗРАБОТКАХ В РАМКАХ ПОДГОТОВКИ  
КАДРОВ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СЕЛЬСКОГО  
ХОЗЯЙСТВА РЕГИОНА**

**П.Г. Асалханов, С.А. Петрова**

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

*п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия*

В работе рассмотрены некоторые ИТ-разработки ученых кафедры информатики и математического моделирования в рамках подготовки кадров для цифровой трансформации сельского хозяйства Иркутской области. Среди них такие проекты как “умная” аудитория, разрабатываемая для Иркутского ГАУ; база данных для обеспечения процессов селекции картофеля Иркутского ГАУ и программный комплекс “Прогнозирование производственно-экономических показателей аграрного производства”. Реализация проекта “умная” аудитория благодаря использованию новых информационных, в том числе интеллектуальных, технологий, позволяет автоматизировать процессы, связанные с созданием комфортных условий для обучающихся и преподавателей при проведении лекционных и практических занятий, как в очном, так и дистанционном формате. Проект содержит в себе несколько связанных между собой модулей, в частности, систему автоматизированного учёта посещаемости студентов и систему авторизованного управления освещением. Каждый из модулей можно рассматривать и как отдельный программно-аппаратный комплекс. Созданная база данных для обеспечения процессов селекции картофеля позволяет хранить многолетние данные по селекции, постоянно дополняя их новыми сведениями, выполнять различного рода обработку данных, выводить отчеты по запросу, выявлять наилучшие и наихудшие результаты процесса селекции и т.д. Программный комплекс “Прогнозирование производственно-экономических показателей аграрного производства” создан для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, затрат труда на получение продукции, объемов производства, финансовых показателей на среднесрочную и долгосрочную перспективы. В приведенных проектах, имеющих научно-практическое значение, активное участие принимали студенты, обучающиеся по направлению прикладная информатика.

*Ключевые слова:* умная аудитория, цифровизация агропромышленного комплекса, образование, база данных, проблемно-ориентированный программный комплекс.

**ABOUT SOME IT-DEVELOPMENTS AS PART OF TRAINING STAFF FOR THE  
DIGITAL TRANSFORMATION OF AGRICULTURE IN THE REGION**

**Asalkhanov P.G., Petrova S.A.**

FSBEI HE Irkutsk SAU

*Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia*

The paper considers some IT-developments of scientists of the Department of Informatics

and Mathematical Modeling as part of training for the digital transformation of agriculture in the Irkutsk region. Among them are such projects as a "smart" audience, developed for the Irkutsk State Agricultural University; a database for supporting the processes of potato breeding of the Irkutsk State Agricultural University and the software package "Forecasting the production and economic indicators of agricultural production". The implementation of the "smart" audience project through the use of new information, including intellectual, technologies, allows you to automate the processes associated with creating comfortable conditions for students and teachers during lectures and practical classes, both in full-time and remote format. The project contains several interconnected modules, in particular, an automated student attendance system and an authorized lighting control system. Each of the modules can also be considered as a separate software and hardware complex. The database created to support potato breeding processes allows storing long-term breeding data, constantly supplementing them with new information, performing various kinds of data processing, displaying reports on request, identifying the best and worst results of the breeding process, etc. The software package "Forecasting production and economic indicators of agricultural production" was created to predict crop yields, labor costs for obtaining products, production volumes, financial indicators for the medium and long term. In the above projects, which are of scientific and practical importance, students studying in the field of applied informatics took an active part.

*Keywords:* smart audience, digitalization of the agro-industrial complex, education, database, problem-oriented software package.

**Введение.** Цифровая трансформация отрасли агропромышленного комплекса на сегодняшний день является одним из приоритетных и передовых проектов нашего государства. Так, одним из национальных проектов [11] является "Цифровая экономика", он направлен на внедрение цифровых технологий в экономике и социальной сфере. Одной из инициатив данного проекта является "Кадры для цифровой экономики" [11]. Другой инициативой в рамках национального проекта "Образование" является цифровая образовательная среда [11]. Министерством сельского хозяйства России разработан ведомственный проект цифровизации данной отрасли. В рамках этого проекта по заказу министерства сельского хозяйства Иркутской области учеными кафедры информатики и математического моделирования ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ была создана концепция цифровизации агропромышленного комплекса Иркутской области [5, 12].

Важность кадровой мощи и потенциала для воплощения в жизнь любой идеи и проекта, успешного функционирования любой организации или предприятия трудно переоценить. Грамотные, инициативные, имеющие необходимые образование, квалификацию, опыт и знания кадры являются опорой и залогом эффективного результата любого начинания и каждого предприятия. На сегодняшний день наблюдается нехватка высококвалифицированных современных специалистов в сельском хозяйстве, умеющих использовать современное оборудование и технику. Поэтому одной из важных задач для успешной цифровой трансформации сельского хозяйства Иркутской области является подготовка высококвалифицированных специалистов IT-отрасли.

Для подготовки качественных специалистов необходимы

высококвалифицированные преподаватели и, конечно, условия обучения. Использование современных информационных технологий способствует созданию эффективной организации обучения и комфортной образовательной среды.

Перспективным направлением развития цифровых технологий в сфере образования является создание так называемых, “умных” аудиторий для учебных заведений, в том числе вузов. Такие аудитории обладают мощными техническими средствами для обучения, показа и имитации разных условий и ситуаций. При этом процесс обучения не должен быть изолирован от реального внешнего мира, в котором будущим специалистам предстоит жить и работать. Чем более реальны условия и среда обучения, тем выше подготовка специалиста. При этом интерес представляет имитация и визуализация разных ситуаций и объектов, что возможно осуществлять в высокотехнологичных аудиториях.

Проект по созданию “умной” аудитории [1, 6, 7, 9] реализован в рамках деятельности в Иркутском аграрном университете федеральной инновационной площадки “Региональная инновационная площадка подготовки кадров высшего образования (бакалавриат, магистратура, аспирантура) для цифровой трансформации сельского хозяйства Иркутской области”. Направлением её деятельности является: информатика, цифровизация: разработка, апробация и (или) внедрение новых профилей (специализаций) подготовки в сфере профессионального образования, обеспечивающие формирование кадрового и научного потенциала в соответствии с основными направлениями социально-экономического развития Российской Федерации. Эти направления определены согласно пункту 5 порядка формирования и функционирования инновационной инфраструктуры в системе образования, утвержденной Приказом № 21н [12], Тематика ИОП, определенная организацией-соискателем.

**Целью работы** является описание трех проектов в рамках подготовки кадров по цифровой трансформации сельского хозяйства и образовательных технологий: “умная” аудитория, база данных по обеспечению процессов селекции картофеля, программный комплекс прогнозирования производственно-экономических показателей.

**Материалы и методы исследования.** В исследовании применены методы проектирования информационных систем, баз данных и «умных» помещений. Кроме того, рассмотрены методы прогнозирования и планирования производственных показателей.

**Основные результаты.** На базе учебной аудитории 340а ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ создана в первом варианте “умная” аудитория. Согласованность работы приборов и оборудования обеспечена передачей данных по протоколу беспроводной передачи данных ZigBee [7]. Функциональные элементы “умной” аудитории:

- 1) “умное” освещение;

2) видеонаблюдение с использованием IP-камеры с датчиком движения, функцией записи и режимом ночного видения;

3) система безопасности от краж с установкой датчиков открытия, вибрации, протечки;

4) управление включением оборудования с использованием «умных» розеток.

В качестве дополнения и развития проекта, который является открытым, предполагается:

- оснащение аудитории классическим потолочным освещением с лампами переменчивой интенсивности света;

- расположение дополнительных источников света над маркерной доской и интерактивной панелью;

- размещение растений с автоматическим поливом;

- установка солнечной панели на внешней стене аудитории для обеспечения помещения автономным питанием электроэнергией.

Подключение системы освещения можно реализовать несколькими способами: 1) «умное» реле; 2) «умный» выключатель; 3) «умные» лампочки и(или) светильники; 4) приборы и датчики, в совокупности с «умными» приборами для освещения, позволяющие создать сценарии работы в зависимости от условий.

В качестве одной из систем помощи преподавателю и студенту «умной» аудитории ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ [1] разработан прототип системы автоматизированного учёта посещаемости студентов. Система фиксирует находящихся в аудитории студентов и заполняет электронный журнал посещаемости занятий. Она обладает возможностью фиксировать время опоздания студента для сбора более детальной статистики посещаемости, предусмотрена защита от ложного срабатывания датчиков [9].

В качестве аппаратной части системы использованы следующие компоненты: 1) микроконтроллер Arduino Uno; 2) модуль бесконтактного считывания NFC-меток RC522; 3) два лазерных модуля KY-008; 4) два модуля с фоторезистором KY-018 [9].

К программному обеспечению системы можно отнести скетч для Arduino UNO, а также web-приложение, позволяющее формировать электронный журнал посещаемости. Разработка web-приложения для системы, включая создание базы данных, осуществлялась на языке Python, с использованием фреймворка Django и среды разработки PyCharm. На рисунке приведен макет интерфейса этого web-приложения.

База данных, разработанная в СУБД SQLite, состоит из 9 таблиц – Преподаватель, Дисциплина, Занятие, Посещение, Студент, Группа, Курс, Направление, Факультет. Основной базы данных является таблица «Посещение», в которой хранятся записи о посещении студентами каждого занятия. Именно из записей этой таблицы формируются записи итогового журнала учёта посещаемости web-приложения.

Таким образом, система представляет собой программно-аппаратную платформу, которая способна в автоматизированном режиме заполнять электронный журнал учёта посещаемости студентов. При этом сам электронный журнал реализован в виде web-приложения, что позволяет пользоваться им в любом месте из любого устройства с доступом к сети Интернет.

ФИО	03.02.22	11.02.22	18.02.22	Время опозданий	Коэффициент посещаемости
Жеребцов Александр Осипович	+	+	+	0 ч.	100%
Синицын Степан Витальевич	+	+	Н	2 ч.	66,6%
Миронов Александр Михайлович	Н	Н	+	4 ч.	33,3%
Наделяев Сергей Павлович	+	+	+	0 ч.	100%

**Рисунок – Макет интерфейса веб-приложения системы учета посещаемости**

Другой разработкой в рамках деятельности федеральной инновационной площадки является база данных для обеспечения процессов селекции картофеля [10]. База данных создана на основании многолетних наработок ученых кафедры земледелия и растениеводства Иркутского аграрного университета. Селекция и семеноводство сельскохозяйственных культур является одним из приоритетных направлений развития сельского хозяйства в России. Созданная база данных позволяет оперативно работать с информацией, количество которой постоянно увеличивается за счет новых экспериментальных материалов, развития теоретических разработок и технологий селекционной работы [10].

В качестве основного источника информации для базы данных использованы разработки по селекции картофеля кафедры земледелия и растениеводства ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ. Помимо этого, проанализированы дополнительные электронные ресурсы: ФГБУ

“Госсорткомиссия”, Иркутскстат “РОСТСТАТ”, ФГБУ Иркутский УГМС, eLIBRARY.RU и RP5.ru.

Эта база данных позволяет хранить многолетние данные по селекции, постоянно дополняя их новыми сведениями, выполнять различного рода обработку данных, выводить отчеты по запросу, выявлять наилучшие и наихудшие результаты процесса селекции и т.д. Система может хранить текстовую и графическую информацию. База данных создана в виде открытой системы, ее функции позволяют осуществлять связь с другими источниками информации, например, доступным сайтом регионального гидрометеорологического управления, сортоиспытательными участками, министерством сельского хозяйства Иркутской области.

На основании многочисленных работ сотрудников кафедры информатики и математического моделирования ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ [2, 3, 4, 8, 17, 18] по созданию математических моделей планирования и управления аграрным производством были разработаны несколько проблемно-ориентированных программных комплексов [14, 15, 16, 19]. Одна из последних разработок - программный комплекс “Прогнозирование производственно-экономических показателей аграрного производства”. Программный комплекс позволяет прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур, затраты труда на получение продукции, объемы производства, а также финансовые показатели на среднесрочную и долгосрочную перспективы. Для прогностических целей использованы функции роста с насыщением: асимптотическая и логистическая. С помощью этой разработки определяются значимые модели, позволяющие составлять прогнозы с различной заблаговременностью, а также оценивать прогностические значения с учетом различных условий деятельности сельскохозяйственных предприятий [15].

На основе комплекса “Прогнозирование производственно-экономических показателей аграрного производства” был разработан программный комплекс “Многоуровневое прогнозирование показателей аграрного производства”, в котором была добавлена функция, позволяющая строить многоуровневые модели, в которых учитывается иерархическая структура ряда, включающая в себя последовательности нижних и верхних уровней [16].

**Выводы.** В статье описаны некоторые разработки, созданные в рамках функционирования федеральной инновационной площадки подготовки кадров высшего образования (бакалавриат, магистратура, аспирантура) для цифровой трансформации сельского хозяйства Иркутской области. В разработке и реализации приведенных проектов принимали активное участие студенты уровня бакалавриата и магистратуры Иркутского аграрного университета.

Проектная деятельность способствует более глубокой проработке изученного материала, развивает творческие и практические навыки.



Реализованные проекты представляют значимость для учебного процесса при подготовке кадров для цифровизации аграрного производства и практического использования в аграрном производстве и научно-исследовательской деятельности.

#### **Список литературы**

1. Асалханов, П.Г. Концепция “умная аудитория” для проведения учебных занятий в аграрном вузе / П.Г. Асалханов, С.А. Петрова // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2021. – № 40. – С. 37-44.
2. Асалханов, П.Г. Применение интеллектуальных технологий в сельском хозяйстве / П.Г. Асалханов, Н.В. Бендик / Матер. всерос. (национальной) научно-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 85-летию со дня рождения Почетного работника высшего проф. образования РФ, канд. экон. наук, проф. Зверева Александра Федоровича “Комплексное развитие сельских территорий”. – п. Молодежный, 2022. – С. 20-25.
3. Асалханов, П.Г. Структура программно-аппаратной платформы и определение типовых ИТ-технологий в отраслях растениеводства и животноводства Иркутской области / П.Г. Асалханов, Н.В. Бендик // Матер. междунар. научно-практ. конф. “Цифровые технологии и системы в сельском хозяйстве” (г. Иркутск, 8-10 октября 2019 г.). – Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ. – 2019. – С. 3-10.
4. Барсукова, М.Н. О задачах и рисках трансформации цифровых технологий в сельском хозяйстве Иркутской области / М.Н. Барсукова, Я.М. Иваньо, С.А. Петрова // Матер. междунар. научно-практ. конф. “Цифровые технологии и системы в сельском хозяйстве” (г. Иркутск, 8-10 октября 2019 года) – Иркутск: Изд-во Иркутского ГАУ. - 2019. – С. 10-22.
5. Ведомственный проект “Цифровое сельское хозяйство”: официальное издание. – М.: ФГБНУ “Росинформагротех”. – 2019. – 48 с.
6. Григорьев, С.Г. “Умная аудитория” — шаг на пути к интеграции средств информатизации образования / С.Г. Григорьев, В.В. Гриншкун, И.М. Реморенко // Вестник РУДН. Серия: Информатизация образования. – 2014. – №1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/umnaya-auditoriya-shag-na-puti-k-integratsii-sredstv-informatizatsii-obrazovaniya>.
7. Жеребцов, А.О. Проектирование “умного” освещения в учебной аудитории аграрного вуза / А.О. Жеребцов, С.А. Петрова // Сб. трудов Всерос. научно-практ. конф. “Инженерные решения для агропромышленного комплекса” (г. Рязань, 24 марта 2022 г.). – Рязань: РГАТУ. - 2022. – С. 38-45.
8. Иваньо, Я.М. Разработки кафедры информатики и математического моделирования Иркутского ГАУ по применению информационных технологий в региональной экономике / Я.М. Иваньо, Н.И. Федурин // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2019. – № 32. – С. 35-44.
9. Миронов, А.М. Автоматизация учёта посещаемости студентов в аграрном вузе / А.М. Миронов, П.Г. Асалханов /. Матер. всерос. студ. научно-практ. конф. “Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК” – п. Молодежный, 2022. – С. 164-169.
10. Надеяев С.П. К вопросу создания базы данных по селекции картофеля / С.П. Надеяев, Я.М. Иваньо // Матер. всерос. студ. научно-практ. конф. “Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК” – п. Молодежный, 2022. – С. 170-175.
11. Национальные проекты России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://национальныепроекты.рф>.

12. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: “Разработка концепции цифровизации сельского хозяйства Иркутской области”. – Государственный контракт № Ф.2019.003016 от 21 октября 2019 г. – 55 с.

13. Приказ Министерства науки и высшего образования РФ от 22.03.2019 № 21н “Об утверждении Порядка формирования и функционирования инновационной инфраструктуры в системе образования”.

14. Программный комплекс “Прогнозирование производственно-экономических показателей аграрного производства” / М.Н. Барсукова, Ж.И. Вараница-Городовская, Я.М. Иваньо, А.А. Ромме // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2021. – № 2(22). – С. 115-123. – DOI 10.38028/ESI.2021.22.2.012.

15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021661256 Российская Федерация. Прогнозирование производственно-экономических показателей с помощью моделей роста с насыщением: № 2021660401: заявл. 30.06.2021 : опубл. 07.07.2021 / А.А. Ромме, Я.М. Иваньо, М.Н. Барсукова, Ж.И. Вараница-Городовская; заявитель ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ.

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022665666 Российская Федерация. “Многоуровневое прогнозирование показателей аграрного производства” : № 2022665000: заявл. 10.08.2022 : опубл. 18.08.2022 / Я.М. Иваньо, А.А. Ромме, М.Н. Барсукова; ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ.

17. Тенденции изменчивости природных событий юга Восточной Сибири / А.Ю. Белякова, Е.В. Вашукевич, Я.М. Иваньо, С.А. Петрова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 10(93). – С. 80-86.

18. Управление рисками аграрного производства в условиях влияния ливней и засух / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова, М.Н. Полковская, Ю.А. Попкова // Матер. всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием “Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса” посвящ. памяти Александра Александровича Ежевского, Иркутск, 15–16 ноября 2018 года. – Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ. - 2018. – С. 125-134.

19. Asalkhanov P.G. Some aspects of digital transformation of agriculture in the Irkutsk region / P.G. Asalkhanov, N.V. Bendik, N.I. Fedurina / Smart Innovation, Systems and Technologies. 2022. T. 272. С. 643-649.

### **References**

1. Asalkhanov, P.G., Petrova, S.A. Kontseptsiya “umnaya auditoriya” dlya provedeniya uchebnykh zanyatiy v agrarnom vuze [The concept of "smart audience" for conducting training sessions in an agrarian university]. Topical issues of agrarian science. 2021, no. 40, pp. 37-44.

2. Asalkhanov, P.G., Bendik, N.V. Primeneniye intellektual'nykh tekhnologiy v sel'skom khozyaystve [Application of intellectual technologies in agriculture]. Molodezhny, 2022, pp. 20-25.

3. Asalkhanov, P.G., Bendik, N.V. Struktura programmno-apparatnoy platformy i opredeleniye tipovykh IT-tekhnologiy v otraslyakh rasteniyevodstva i zhivotnovodstva Irkutskoy oblasti [The structure of the software and hardware platform and the definition of typical IT technologies in the crop and livestock sectors of the Irkutsk region]. Irkutsk, 2019, pp. 3-10.

4. Barsukova, M.N. et al. O zadachakh i riskakh transformatsii tsifrovyykh tekhnologiy v sel'skom khozyaystve Irkutskoy oblasti [About the tasks and risks of transformation of digital technologies in agriculture of the Irkutsk region]. Irkutsk, 2019, pp. 10-22.

5. Vedomstvennyy proyekt “Tsifrovoye sel'skoye khozyaystvo”: ofitsial'noye izdaniye [Departmental project “Digital Agriculture”: official publication]. Moscow, 2019, 48 p.

6. Grigor'yev, S.G. et al. “Umnaya auditoriya” — shag na puti k integratsii sredstv

informatizatsii obrazovaniya [“Smart classroom” – a step towards the integration of educational informatization means]. Vestnik RUDN. Seriya: Informatizatsiya obrazovaniya, 2014, no. 1.

7. Zherebtsov, A.O., Petrova, S.A. Proyektirovaniye “umnogo” osveshcheniya v uchebnoy auditorii agrarnogo vuza [Designing “smart” lighting in the classroom of an agricultural university]. Ryazan, 2022, pp. 38-45.

8. Ivanyo, Ya.M., Fedurina, N.I. Razrabotki kafedry informatiki i matematicheskogo modelirovaniya Irkutskogo GAU po primeneniyu informatsionnykh tekhnologiy v regional'noy ekonomike [Developments of the Department of Informatics and Mathematical Modeling of the Irkutsk State Agrarian University on the use of information technologies in the regional economy]. Topical issues of agrarian science, 2019, no. 32, pp. 35-44.

9. Mironov, A.M., Asalkhanov, P.G. Avtomatizatsiya uchota poseshchayemosti studentov v agrarnom vuze [Automation of accounting for student attendance at an agricultural university]. Molodezhny, 2022, pp. 164-169.

10. Nadelyaev S.P., Ivanyo Ya.M. K voprosu sozdaniya bazy dannykh po selektsii kartofelya [On the issue of creating a database on potato breeding]. Molodezhny, 2022, pp. 170-175.

11. Natsional'nyye proyekty Rossii [National projects of Russia]. [Electronic resource]. – Access mode: <https://nationalprojects.rf>.

12. Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote po teme: “Razrabotka kontseptsii tsifrovizatsii sel'skogo khozyaystva Irkutskoy oblasti”. – Gosudarstvennyy kontrakt № F.2019.003016 ot 21 oktyabrya 2019 g [Report on research work on the topic: “Development of the concept of digitalization of agriculture in the Irkutsk region”. – State contract No. F.2019.003016 dated October 21, 2019]. 55 p.

13. Prikaz Ministerstva nauki i vysshego obrazovaniya RF ot 22.03.2019 № 21n “Ob utverzhdenii Poryadka formirovaniya i funktsionirovaniya innovatsionnoy infrastruktury v sisteme obrazovaniya” [Order of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation of March 22, 2019 No. 21n “On Approval of the Procedure for the Formation and Functioning of Innovative Infrastructure in the Education System”].

14. Programmnyy kompleks “Prognozirovaniye proizvodstvenno-ekonomicheskikh pokazateley agrarnogo proizvodstva” [Program complex “Forecasting of production and economic indicators of agricultural production”] M.N. Barsukova, Zh.I. Varanitsa-Gorodovskaya, Ya.M. Ivanyo, A.A. Romme, 2021, no. 2(22), pp. 115-123. – DOI 10.38028/ESI.2021.22.2.012.

15. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2021661256 Rossiyskaya Federatsiya. Prognozirovaniye proizvodstvenno-ekonomicheskikh pokazateley s pomoshch'yu modeley rosta s nasyshcheniyem [Certificate of state registration of the computer program No. 2021661256 Russian Federation. Forecasting production and economic indicators using growth models with saturation]. No. 2021660401: Appl. 06/30/2021: publ. 07/07/2021 / A.A. Romme, Ya.M. Ivanyo, M.N. Barsukova, Zh.I. Varanitsa-Gorodovskaya; applicant FSBEI HE Irkutsk SAU.

16. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2022665666 Rossiyskaya Federatsiya. “Mnogourovnevoye prognozirovaniye pokazateley agrarnogo proizvodstva” [Certificate of state registration of the computer program No. 2022665666 Russian Federation. “Multilevel forecasting of indicators of agricultural production”]. No. 2022665000: Appl. 08/10/2022: publ. 08/18/2022 / Ya.M. Ivanyo, A.A. Romme, M.N. Barsukova; applicant FSBEI HE Irkutsk SAU.

17. Tendentsii izmenchivosti prirodnykh sobytiy Yuga Vostochnoy Sibiri [Trends in the variability of natural events in the South of Eastern Siberia]. Bulletin of the Irkutsk State Technical University, 2014, no. 10(93), pp. 80-86.

18. Upravleniye riskami agrarnogo proizvodstva v usloviyakh vliyaniya livney i zasukh

[Risk management of agricultural production under the influence of rainstorms and droughts]. Irkutsk, 2018, pp. 125-134.

*Исследование выполнено на базе федеральной инновационной площадки Иркутского аграрного университета имени А.А. Ежевского, составляющей инновационную инфраструктуру в сфере высшего образования и соответствующего дополнительного профессионального образования (приказ Минобрнауки России “Об утверждении перечня организаций” от 25.12.2020 N 1580)*

Дата поступления в редакцию 24.09.2022, дата принятия в печать 30.09.2022.

#### **Сведения об авторах**

**Асалханов Петр Георгиевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел. 89500621107, e-mail: asalkhanov@mail.ru).

**Петрова Софья Андреевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел.: 89149325573, e-mail: sofia.registration@mail.ru).

#### **Information about authors**

**Asalkhanov Peter G.** – Candidate of Technical Sciences, Ass. Prof. of the Department of informatics and mathematical modeling. FSBEI HE Irkutsk SAU (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 89500621107, e-mail: asalkhanov@mail.ru).

**Petrova Sofia A.** - Candidate of Technical Sciences, Ass. Prof. of the Department of informatics and mathematical modeling. FSBEI HE Irkutsk SAU (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 89149325573, e-mail: sofia.registration@mail.ru).

УДК 519.6

## **УСЛОВИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ И ИХ ФОРМЫ**

**В.И. Зоркальцев**

Байкальский государственный университет  
г. Иркутск, Россия

Модели оптимизации широко используются в различных областях деятельности, в том числе при планировании развития и управлении сельскохозяйственным производством. В алгоритмах поиска оптимальных решений, интерпретации получаемых решений, при обосновании оптимальности полученного решения используются множители Лагранжа и конструируемые на их основе условия оптимальности. Основная цель данной статьи состоит в том, чтобы дать доступное изложение происхождения этих множителей, возможности их использования в задачах оптимизации для вычисления и выявления оптимальных решений. Рассматриваются основополагающие, простейшие виды задач оптимизации. Выделен раздел по определению условия оптимальности в безусловной оптимизации, описана оптимизация на линейном многообразии, рассмотрена оптимизация при линейных ограничениях равенствах, охарактеризовано значение

множителей Лагранжа и полезность применения двойственных задач математического программирования.

*Ключевые слова:* оптимизация, выпуклое программирование, задачи безусловной оптимизации и минимизации при линейных ограничениях, условия оптимальности, симметричная двойственность.

## OPTIMALITY CONDITIONS AND THEIR FORMS

**Zorkaltsev V.I.**

Baikal State University  
*Irkutsk, Russia*

Optimization models are widely used in various fields of activity, including development planning and agricultural production management. In algorithms for finding optimal solutions, interpreting the solutions obtained, and substantiating the optimality of the obtained solution, Lagrange multipliers and optimality conditions constructed on their basis are used. The main goal of this article is to give an accessible presentation of the origin of these factors, the possibility of their use in optimization problems for calculating and identifying optimal solutions. The fundamental, simplest types of optimization problems are considered. A section on determining the optimality condition in unconditional optimization is highlighted, optimization on a linear manifold is described, optimization under linear equality constraints is considered, the value of Lagrange multipliers and the usefulness of using dual problems of mathematical programming are characterized.

*Keywords:* optimization, convex programming, unconstrained optimization and minimization problems under linear constraints, optimality conditions, symmetric duality.

**Введение.** С конца 30-х годов прошлого века ленинградский математик Л.В. Канторович стал разрабатывать и активно пропагандировать применение моделей оптимизации в различных секторах экономики, в том числе в сельском хозяйстве [9. 10] Затем с 50-х годов к этому активно подключились (первоначально независимо) американские математики, а также ученые других стран [3]. К 70-м годам прошлого столетия теория и методы оптимизации оформились в крупное научное направление, в формирование которого внесли большой вклад и иркутские математики (В.П. Булатов, О.В. Васильев и многие другие). Имеется ряд фундаментальных монографий по оптимизации обзорного характера как советских ученых [1. 11], так и переведенных монографий зарубежных авторов [4. 12].

Необходимо отметить, что существующие учебники и монографии по оптимизации написаны в основном математиками для студентов, имеющих хороший уровень подготовки в математическом анализе, линейной алгебре и других областях современной математики. Существует необходимость в популярном и при этом строгом изложении основ теории и методов оптимизации для студентов, обучающихся не на математических направлениях, в т.ч. для будущих энергетиков, специалистов в сельском хозяйстве. Данная статья посвящена изложению основополагающих фактов

в теории оптимизации на строгом и при этом максимально популярном уровне. Особое внимание обращается на множители Лагранжа и так называемые двойственные задачи оптимизации. Статья написана на основе и в развитие материалов одной из лекций автора по введению в математическое моделирование и оптимизацию [8] молодых научных сотрудников института систем энергетики.

### **Условия оптимальности в безусловной оптимизации**

Рассмотрим задачу безусловной оптимизации

$$f(x) \rightarrow \min, x \in R^n, \quad (1)$$

где  $f$  – выпуклая функция. Следует отметить, что выпуклость целевой функции иногда является почти очевидным фактом, например, если эта функция является нормой векторов в пространстве  $R^n$ . Из аксиом, определяющих любую норму, следует их выпуклость. В иных случаях доказательство выпуклости функции может потребовать специальных исследований. В реальных моделях целевая функция может быть, конечно, и не выпуклой, но и в этих случаях полезно знать свойства задач минимизации выпуклых функций.

Для задачи безусловной оптимизации (1) множество допустимых решений (им здесь является все пространство  $R^n$ ) заведомо не пусто и это не может стать причиной отсутствия решения. Возможны две другие причины отсутствия решений.

Во-первых, целевая функция может неограниченно убывать на множестве  $R^n$ . Во-вторых, значение выпуклой целевой функции может быть и ограниченным снизу, но ни в одной точке  $R^n$  не будет достигаться минимума. Таковой, например, будет сумма экспонент

$$f(x) = \sum_{j=1}^n e^{x_j}.$$

Она имеет инфимум, равный нулю, к которому стремится значение этой функции при  $x_j \rightarrow -\infty$  для всех  $j = 1, \dots, n$ .

Как узнать, доказать, что рассматриваемая точка является требуемым оптимальным решением или не является таковой. В общем случае не для выпуклой целевой функции это сделать невозможно. Утверждать, что во всех других точках, а их бесконечно много данная функция имеет большее либо такое же значение, как в данной точке для произвольной целевой функции, нельзя. А перебрать все другие точки невозможно.

Факт выпуклости целевой функции очень полезен. В частности, если удастся установить для выпуклой функции  $f$ , что в данной точке  $x \in R^n$  она

по любому нормированному направлению  $s \in R^n$  не убывает

$$f(x+s) \geq f(x), \quad (2)$$

то тем самым мы устанавливаем, что в точке  $x$  достигается решение задачи

(1). **Нормированным направлением** назван вектор  $s \in R^n$ , такой что

$$\|s\| \leq 1. \quad (3)$$

Для выполнения неравенства (2) достаточно, чтобы в точке  $x$  функции  $f$  производная по любому нормированному направлению  $s \in R^n$

$$\pi(x, s) = \lim_{\lambda \rightarrow 0_+} \frac{f(x + \lambda s) - f(x)}{\lambda} \quad (4)$$

была неотрицательна,

$$\pi(x, s) \geq 0. \quad (5)$$

В определении (4) **производной по направлению**, выражение  $\lambda \rightarrow 0_+$  обозначает тот факт, что величина  $\lambda$  стремится к нулю, оставаясь при этом всегда положительной.

Например, если

$$f(x) = \sum_{j=1}^n |x_j|, \quad (6)$$

то производная данной функции в точке  $x=0$  положительная по любому ненулевому направлению. То есть, по любому ненулевому направлению функция (6) в нуле будет возрастающей. Следовательно, в точке  $x=0$  имеем минимум этой функции (равный нулю). Это очень удобный пример для иллюстрации техники доказательства оптимальности полученного решения в общем случае. Для функции (6) несложно получить аналитическое выражение производной в данной точке по любому направлению, из которого видно, что в точке  $x=0$  по любому ненулевому направлению производная положительная.

На этом же примере видно одно очень сильное неудобство этой техники доказательства оптимальности в общем случае. В некоторых случаях потребуется перебор всех возможных, пусть даже только нормированных, направлений. Так как таких направлений бесконечно много, то полный их перебор может стать невозможным.

Особый интерес представляет случай, когда функция  $f$  **дифференцируемая, то есть имеющая в каждой точке  $x$  частные производные по отдельным компонентам.** Эти частные производные

составляют вектор  $\nabla f(x)$  из  $R^n$ , называемый **градиентом функции**  $f$ .

Компонентами вектора градиента являются величины

$$\nabla_j f(x) = \frac{\partial f(x)}{\partial x_j}, \quad j = 1, \dots, n.$$

Здесь особое обозначение для дифференциала подчеркивает, что имеем дело именно с частными производными функции  $f$  в точке  $x$ . Частная производная совпадает с известным понятием производной функции от одной переменной, если считать, что все переменные кроме одной  $j$ -ой зафиксированы. То есть рассматривается только зависимость  $f$  от переменной  $x_j$  последовательно для всех  $j = 1, \dots, n$ .

Для дифференцируемой функции производная по направлению совпадает со скалярным произведением градиента на рассматриваемое направление

$$\pi(x, s) = (\nabla f(x), s). \quad (7)$$

Следовательно, выполняется равенство

$$\pi(x, s) = -\pi(x, -s). \quad (8)$$

Обратное утверждение, вообще говоря, не верно: если функция  $f$  имеет в данной точке производные по всем направлениям и для них выполняется равенство (8), то она может быть и не дифференцируемой в этой точке.

В силу (7), если в точке  $x$  по направлению  $s$  функция  $f$  возрастает, то по направлению  $-s$  она будет убывать. Поэтому, условие оптимальности (5) должно выполняться только в виде равенства. *Для того чтобы выпуклая дифференцируемая функция  $f$  достигала в точке  $x$  своего минимума, необходимо и достаточно, чтобы при любом  $s \in R^n$*

$$\pi(x, s) = 0. \quad (9)$$

*А это, согласно (7), выполняется в том и только том случае, если*

$$\nabla f(x) = 0. \quad (10)$$

Соотношение (10) принято называть **условием оптимальности Ферма**, поскольку он, как считается, первый использовал это условие в



исследованиях, связанных с законом преломления света.

Заметим, исходные условия оптимальности (2) или (5), а также условие (9) имели, в общем-то, неконструктивный характер. Они требуют перебора всех направлений, которых бесконечно много. Условие (10), построенное на основе (9), вполне конструктивно – в нем требуется только убедиться, что все частные производные в данной точке равны нулю.

В заключение отметим, что целесообразно использовать в исследованиях оба условия оптимальности (9) и (10). Они равносильны, хотя и имеют разную форму. Первое из них является **условием оптимальности в терминах возможных направлений**. Согласно ему, по всем возможным направлениям целевая функция в точке оптимума должна не улучшаться. Условие (10) можем называть **конструктивным условием оптимальности**, поскольку оно легко проверяемо в алгоритмах. В следующем разделе рассмотрим развитие этих двух критериев для задач с ограничениями.

**Замечание.** В данной статье мы ограничились использованием только широко известного понятия выпуклых функций. В литературе иногда рассматриваются некоторые обобщения понятия выпуклости функции, в т.ч. квазивыпуклые или псевдовыпуклые функции [5] в разных вариантах. При практическом использовании рассматриваемых здесь условий оптимальности полезно иметь в виду возможности такого рода обобщений.

Особое значение имеют сужения класса выпуклых функций, использовавшиеся здесь дифференцируемые выпуклые функции, а также строго выпуклые функции.

### **Оптимизация на линейном многообразии**

Рассмотрим задачу минимизации дифференцируемой выпуклой функции  $f$  на линейном многообразии  $L$ :

$$f(x) \rightarrow \min, \quad x \in L. \quad (11)$$

Обозначим  $S$  линейное подпространство параллельное  $L$ :

$$S = L - y \quad (12)$$

при некотором  $y \in L$ . Напомним, что линейным многообразием называется подмножество  $R^n$  замкнутое относительно операции аффинной комбинации векторов: если два вектора находятся в данном множестве, то любая их линейная комбинация с весами в сумме равными единице также должна находиться в этом же множестве.

Обозначим  $S^\perp$  линейное подпространство ортогональное  $S$ . То есть, любой вектор из  $S^\perp$  ортогонален любому вектору из  $S$ :

$$S^\perp = \{x \in R^n : \forall y \in S, x^T y = 0\}. \quad (13)$$

Отметим, что согласно (12) линейное подпространство  $S$  можно рассматривать как множество возможных направлений от любого вектора из множества  $L$ , не выводящих из  $L$ :

$$L = y + S,$$

где  $y$  – может быть любой вектор из  $L$ . Линейное подпространство обладает такими важными свойствами: если какой-либо вектор  $s$  находится в  $S$  то и вектор  $-s$  находится в  $S$ . Отсюда, получаем следующее условие оптимальности для задачи (11).

*Вектор  $x$  из линейного многообразия  $L$  будет оптимальным решением задачи (11) в том и только в том случае, если по любому направлению  $s \in S$  производная функции  $f$  в точке  $x$  была равна нулю. Следовательно, необходимо и достаточно выполнения равенства*

$$(\nabla f(x), s) = 0 \quad (14)$$

для всех  $s \in S$ .

Условие (14) согласно (13) равносильно соотношению

$$\nabla f(x) \in S^\perp. \quad (15)$$

Условие (14) можно рассматривать как обобщение условия (9) для задачи безусловной оптимизации. Оно переходит в (9) при  $L = R^n$ . Соотношение (14) также можно называть **условием оптимальности в терминах возможных направлений**.

Условие (15) уместно называть **“конструктивным” условием оптимальности**. Его можно рассматривать как обобщение условия (10) для задачи безусловной оптимизации. Заметим, в случае, когда  $L = R^n$  и, следовательно,  $S = R^n$  множество  $S^\perp$  состоит из одного нулевого вектора. Поэтому (10) есть частный случай (15). Полагаю, условие (15) вполне уместно будет назвать условием оптимальности Ферма. Оно более интересно, чем исходное условие Ферма (10) и содержит условие (10) как частный случай.

### **Оптимизация при линейных ограничениях равенствах**

Использование аксиоматического определения линейного многообразия в задаче (11) полезно тем, что устанавливаемые для этой

задачи факты могут использоваться в различных более конкретных задачах. Возможны разные способы задания в алгебраической форме линейного многообразия. Рассмотрим случай, когда, линейное многообразие является множеством решений системы линейных уравнений

$$L = \{x \in R^n : Ax = b\}, \quad (16)$$

где  $A$  – заданная матрица размера  $m \times n$ ,  $b$  – заданный вектор  $R^m$ .

Линейное подпространство  $S$  состоит из множества решений однородной системы линейных уравнений,

$$S = \{x \in R^n : Ax = 0\}. \quad (17)$$

Подпространство  $S^\perp$  является образом матрицы  $A^T$ ,

$$S^\perp = \{x = A^T u : u \in R^m\}. \quad (18)$$

В рассматриваемом случае соотношение (15) равносильно следующему утверждению: при некотором векторе  $u \in R^n$  должно выполняться равенство

$$\nabla f(x) = A^T u. \quad (19)$$

Итак, для оптимальности вектора  $x$  из  $R^n$  необходимо и достаточно выполнение двух условий: соотношения (19), при некотором  $u \in R^n$  и условия допустимости данного решения, то есть равенства

$$Ax = b. \quad (20)$$

Заметим, что к условиям (19), (20) можно прийти, приравнявая частные производные функции

$$L(x, u) = f(x) + \sum u_i g_i(x)$$

к нулю. Здесь

$$g_i(x) = b_i - \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j,$$

где  $a_{ij}$  – коэффициенты матрицы  $A$ . То есть  $g_i$  – это отдельные функции в условии (2), определяющие многообразие  $L$ .

Величины  $u_i$  называются **множителями Лагранжа** ограничений задачи. Функция  $L(x, u)$  называется **функцией Лагранжа**.

Идея функции, носящей его имя, была высказана Лагранжем в виде краткого замечания о том, что в случае наличия у задачи оптимизации ограничений в форме условий-равенств участвующие в этих ограничениях функции целесообразно добавлять с какими-то множителями к целевой функции, и тем самым сводить исходную задачу к задаче безусловной оптимизации.

**Множители Лагранжа играют огромную роль в теории и алгоритмах оптимизации. Они используются для доказательства оптимальности полученного решения.** Именно так они применяются в рассмотренном здесь примере: *если найдется вектор  $x$ , который с требуемой точностью удовлетворяет условиям допустимости (20) и при этом для некоторого вектора  $u$  выполняется условие оптимальности (19), то можем считать, что получено оптимальное решение рассматриваемой задачи (11), (16).*

Множители Лагранжа используются при теоретических обоснованиях алгоритмов оптимизации. Эти множители полезны для анализа чувствительности получаемого решения к варьированию ограничений задачи. Они очень важны для содержательной интерпретации получаемых решений и применимы в самих алгоритмах оптимизации. В некоторых случаях алгоритмы оптимизации строятся в виде процесса улучшения значений только множителей Лагранжа, а само оптимальное решение по исходным переменным получается лишь в итоге итеративного улучшения этих множителей. Приведем один возможный вариант построения двойственной задачи к (11), (16).

#### **Двойственная задача оптимизации**

Пусть

$$f(x) = \sum_{j=1}^n (-c_j x_j + f_j(x_j)), \quad (21)$$

где  $f_j$  – выпуклые дифференцируемые функции, производные которых возрастают от  $-\infty$  до  $+\infty$  при увеличении аргумента от  $-\infty$  до  $+\infty$ . Причем производные этих функций непрерывные функции и равные нулю в нуле. Функции, обладающие такими свойствами имеют сопряженные по Лежандру функции, которые обозначим  $l_j$ . Напомним, сопряженность по Лежандру означает, что у каждой пары функций  $f_j$  и  $l_j$  для  $j=1, \dots, n$  производные являются взаимно обратными функциями. Заданным в (21) является также вектор  $c \in R^n$ .

Двойственной к задаче (11), (16) является следующая задача

минимизации выпуклой функции

$$\sum_{i=1}^m b_i u_i + l(y) \rightarrow \min \quad (22)$$

при ограничениях равенствах:

$$y - A^T u = c. \quad (23)$$

Переменные этой задачи составляют векторы  $u$ ,  $y$ . Из условия (23) вектор  $y$  можно выразить через вектор  $u$ . В результате задача (22), (23) сводится к проблеме безусловной минимизации выпуклой дифференцируемой функции с  $m$  переменными:

$$G(u) = -\sum_{i=1}^m b_i u_i + l(c + A^T u) \rightarrow \min. \quad (24)$$

Вычислив вектор  $u$  из условия (23) находим вектор  $y$ . Затем можем вычислить вектор

$$x = \nabla l(y). \quad (25)$$

Этот путь решения задачи (10), (16) может быть более привлекательным, поскольку центральной вычислительной проблемой в нем является решение задачи безусловной оптимизации (24).

Отметим, что исходная (11), (16) и двойственная задачи (22), (23) (а также равносильная двойственной задаче (25)) либо имеют решения, либо все они не имеют решения. Решения не может быть только из-за того, что система линейных уравнений (20) несовместная. В этом и только в этом случае задачи (22), (23) и (25) не имеют решения из-за того, что их целевые функции не ограничены снизу на множествах допустимых решений этих задач. Отсюда получаем конструктивный критерий для выявления случая противоречивости ограничений в системе линейных уравнений (20). Для этого следует указать рецессивное направление для задачи (25), направление по которому целевая функция этой задачи будет неограниченно убывать.

### Поиск нормального решения системы линейных уравнений

Рассмотрим случай, когда  $c=0$ ,

$$f_j(x_j) = 0.5h_j x_j^2 \dots j = 1, \dots, n, \quad (25)$$

где  $h_j$  – заданные положительные весовые коэффициенты. Этот случай означает, что задача (10), (16) является проблемой поиска решения системы линейных уравнений с минимальной взвешенной евклидовой нормой:

$$0,5 \sum_{j=1}^n h_j x_j^2 \rightarrow \min, \quad Ax = b. \quad (26)$$

Двойственная задача в данном случае сводится к проблеме безусловной минимизации квадратичной выпуклой функции

$$0.5u^T AH^{-1}A^T u - \sum_{i=1}^m b_i u_i \rightarrow \min, \quad (27)$$

где  $H^{-1}$  – квадратная диагональная матрица размера  $n$  с коэффициентами  $1/h_j$  на диагонали. Приравняв градиент целевой функции к нулевому вектору, приходим к системе линейных уравнений с симметричной неотрицательно определенной матрицей. Найдя решение этой системы и, следовательно, задачи оптимизации (27) несложно определить вектор

$$y = c + A^T u$$

и по правилу (25) вектор переменных исходной задачи.

$$x = H^{-1} y.$$

Такой путь вычисления имеет преимущества в случае, если число переменных  $u$  задачи значительно превосходит числа уравнений. Этот способ обобщается на системы линейных неравенств. Такой способ решения систем линейных уравнений и неравенств с большими числами переменных при относительно небольших наборах ограничений для случая простых (невзвешенных, имеющих одинаковые единичные веса  $h_j$ ) рассматривался А.И. Голиковым и Ю. Г. Евтушенко [2].

Рассмотренные здесь двойственные задачи оптимизации оказались очень полезны для лучшего понимания, теоретического обоснования и разработки эффективных методов реализации электрических и гидравлических цепей [6, 7].

#### Список литературы

1. Васильев, Ф.П. Методы оптимизации / Ф.П. Васильев. – М: Изд-во МЦПМО, 2001, Ч. I – 619 с, Ч. II – 700 с.
2. Голиков, А.И. Теоремы об альтернативах и их применение в численных методах / А.И. Голиков, Ю.И. Евтушенко // ЖВМ и МФ, 2003, т. 43, №3, – С. 354-375.
3. Данциг, Дж. Линейное программирование, его применение и обобщение / Дж. Данциг. – М.: Прогресс, 1966. – 600 с.
4. Денис, Дж.Б. Математическое программирование и электрические цепи / Дж.Б. Денис. – М.: Изд.-во иностр. лит-ры, 1981. – 215 с.
5. Зангвилл, У.И. Нелинейное программирование. Единый подход. / У.И. Зангвилл. – М.: Сов. радио, 1973. – 312 с.
6. Зоркальцев, В.И. Действует ли принцип наименьшего действия в электрических

и гидравлических цепях / В.И. Зоркальцев // Сб. трудов Байкальской междунар. школы-семинара “Методы оптимизации и их приложения”. – Т. 6: “Математическая экономика”. – Иркутск: РИО ИДТСТУ СО РАН, 2011. – С. 317-328.

7. Зоркальцев, В.И. Симметричная двойственность в оптимизации и ее приложения / В.И. Зоркальцев // Изв. Вузов. Математика, 2006, №2 – С. 53-59.

8. Зоркальцев, В.И. Элементы оптимизации / В.И. Зоркальцев. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2014. – 100 с.

9. Канторович, Л.В. Математические методы организации и планирования производства / Л.В. Канторович. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1939. – 68 с.

10. Канторович, Л.В. О некоторых математических проблемах промышленности, сельского хозяйства и транспорта / Л.В. Канторович. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1939. – 4 с.

11. Поляк, Б.Т. Введение в оптимизацию / Б.Т. Поляк. – М.: Наука, 1983. – 384 с.

12. Уайлд, Д. Оптимальное проектирование / Д. Уайлд. – М.: Мир, 1981. – 272 с.

### References

1. Vasil'ev, F.P. Metody optimizacii [Optimization methods]. Moscow, 2001, vol. I, 619 p., vol. II, 700 p.

2. Golikov, A.I., Evtushenko, Yu.I. Teoremy ob al'ternativah i ih primeneniye v chislennykh metodah [Alternative theorems and their application in numerical methods]. 2003, vol. 43, no. 3, pp. 354-375.

3. Dancig, Dzh. Linejnoe programmirovaniye, ego primeneniye i obobshcheniye [Linear programming, its application and generalization]. Moscow: Progress, 1966, 600 p.

4. Denis, Dzh.V. Matematicheskoye programmirovaniye i elektricheskiye tsepi [Mathematical programming and electrical circuits]. Moscow, 1981, 215 p.

5. Zangvill, U.I. Nelinejnoe programmirovaniye. Edinyj podhod [Nonlinear programming. A unified approach]. Moscow: Sov. radio, 1973, 312 p.

6. Zorkal'cev, V.I. Dejstvuet li princip naimen'shego dejstviya v elektricheskikh i gidravlicheskikh tsepyah [Does the principle of least action work in electrical and hydraulic circuits]. Irkutsk, 2011, vol. 6 pp. 317-328.

7. Zorkal'cev, V.I. Simmetrichnaya dvoystvennost' v optimizacii i ee prilozheniya [Symmetric duality in optimization and its applications]. Izv. vuzov. Matematika, 2006, no. 2, pp. 53-59.

8. Zorkal'cev, V.I. Elementy optimizacii [Elements of optimization]. Irkutsk, 2014, 100 p.

9. Kantorovich, L.V. Matematicheskiye metody organizacii i planirovaniya proizvodstva / Л.В. Канторович [Mathematical methods of organization and planning of production]. – Leningrad: Izd-vo LGU, 1939, 68 p.

10. Kantorovich, L.V. O nekotorykh matematicheskikh problemah promyshlennosti, sel'skogo hozyajstva i transporta [On some mathematical problems of industry, agriculture and transport]. Leningrad: Izd-vo LGU, 1939, 4 p.

11. Polyak, B.T. Vvedeniye v optimizaciyu [Introduction to optimization]. Moscow: Nauka, 1983, 384 p.

12. Uajld, D. Optimal'noye proektirovaniye [Optimal design]. Moscow: Mir, 1981, 272 p.

Дата поступления в редакцию 15.09.2022, дата принятия в печать 30.09.2022.

### Сведения об авторе

**Зоркальцев Валерий Иванович** – ведущий научный сотрудник лаборатории междисциплинарных эколого-экономических исследований и технологий Лимнологического института СО РАН, доктор технических наук, профессор. ФГБОУ ВО “Байкальский государственный университет”. (664003, Сибирский федеральный округ,

Иркутская область, г. Иркутск, ул. Ленина, д. 11). Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук. (664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, д. 3, e-mail: vizork@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3704-8759).

#### Information about the author

**Zorkaltsev Valeriy I.** – Leading Research Fellow, Laboratory of Interdisciplinary Ecology and Economy Research and Technology, Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technology, Professor. FSBEI HE “Baikal State University” (11, Lenin St., Irkutsk, 664033, Russia). Limnological Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (3, UlanBatorskaya St., Irkutsk, 664033, Russia, e-mail: vizork@mail.ru).

УДК 621.311

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ, ОБОРУДОВАННЫХ МНОГОЦЕПНЫМИ ЛИНИЯМИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

<sup>1,2</sup>А.В. Крюков, <sup>2</sup>Суслов К.В., <sup>3</sup>Лэ Ван Тхао, <sup>4</sup>Чан Зюй Хынг

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Россия

<sup>3</sup>Военно-технический институт автоматизации,  
г. Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам

<sup>4</sup>Военно-промышленный колледж,  
г. Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам

Для сокращения отвода земельных участков под сооружение объектов электроэнергетики можно эффективно применять многоцепные воздушные линии (МВЛ) электропередачи, в которых на одной опоре размещаются провода нескольких цепей различного класса напряжений. Особенности расположения проводов на опорах МВЛ обуславливают неодинаковость индуктивностей и емкостей разных фаз. Кроме того, наблюдаются значительные взаимные электромагнитные влияния цепей линии. Для учета этих факторов моделирование режимов электроэнергетических систем, оснащенных МВЛ, целесообразно проводить в фазных координатах. На основе таких моделей возможно определять режимы с учетом продольных и поперечных несимметрий и анализировать условия электромагнитной безопасности на трассах многоцепных ЛЭП. Методика является универсальной и может применяться для решения указанных задач для МВЛ разных конструкций.

В статье представлены результаты исследований, направленных на разработку метода моделирования режимов МВЛ. Приведены результаты моделирования режимов электрической сети, включающей трехцепную линию электропередачи. Практическое использование разработанных моделей позволит обоснованно выбирать варианты применения многоцепных линий электропередачи.

*Ключевые слова:* электроэнергетические системы, многоцепные линии электропередачи, моделирование.



---

SIMULATION OF MODES OF ELECTRIC NETWORKS EQUIPPED WITH MULTI-  
CIRCUIT POWER LINES

<sup>1,2</sup>Kryukov A.V., <sup>2</sup>Suslov K.V., <sup>3</sup>Le Van Thao, <sup>4</sup>Chan Zui Hyng

<sup>1</sup>Irkutsk State Transport University, *Irkutsk, Russia*

<sup>2</sup>Irkutsk National Research Technical University, *Irkutsk, Russia*

<sup>3</sup>Institute of Military Technical Automation,  
*Hanoi City, Socialist Republic of Vietnam*

<sup>4</sup>Military Industrial College, *Hanoi City, Socialist Republic of Vietnam*

To reduce the allocation of land plots for the construction of electric power facilities, it is possible to effectively use multi-circuit overhead lines (MCO) of power transmission, in which wires of several circuits of various voltage classes are placed on one support. The asymmetrical arrangement of wires on the MCO supports causes the unequal inductances and capacitances of different phases. In addition, there are significant mutual electromagnetic influences of the line circuits. To take into account these factors, modeling of the modes of electric power systems equipped with MCO should be carried out on the basis of phase coordinates. Based on these models, it is possible to determine modes taking into account longitudinal and transverse asymmetries, as well as electromagnetic safety conditions on the routes of multi-circuit power transmission lines. The technique is universal and can be used to solve specified problems for MCO of various designs.

The article presents the results of studies aimed at developing a method for modeling MCO regimes. The results of modeling the modes of an electric network, including a three-circuit power line, are presented. The practical use of the developed models will make it possible to reasonably choose the options for the use of multi-circuit power lines.

*Key words:* electric power systems, multi-circuit power lines, modeling.

**Введение.** Задача уменьшения отвода земельных участков под строительство линий электропередачи (ЛЭП) приобретает в последние годы особую актуальность. Один из наиболее эффективных способов решения этой задачи может быть реализован на основе применения ЛЭП многоцепной конструкции [1, 4]; при этом на одной опоре размещаются провода нескольких линий различного класса напряжений (рис. 1).

Многоцепные воздушные линии (МВЛ) начали применяться за рубежом с семидесятых годов прошлого века. Например, в Германии используется МВЛ шестицепной конструкции, опора которой имеет четыре траверсы: две верхние предназначены для крепления проводов линии 380 кВ. На средней траверсе размещаются провода двух линий 220 кВ, а на нижней – такого же числа ЛЭП 110 кВ (рис. 1 а). Общее число проводов, размещаемых на опоре равно восемнадцати. В Египте построена четырёхцепная ЛЭП 66 – 230 кВ, аналогичная ЛЭП с напряжениями цепей 400 и 110 кВ работает в Словакии (рис. 1 б).

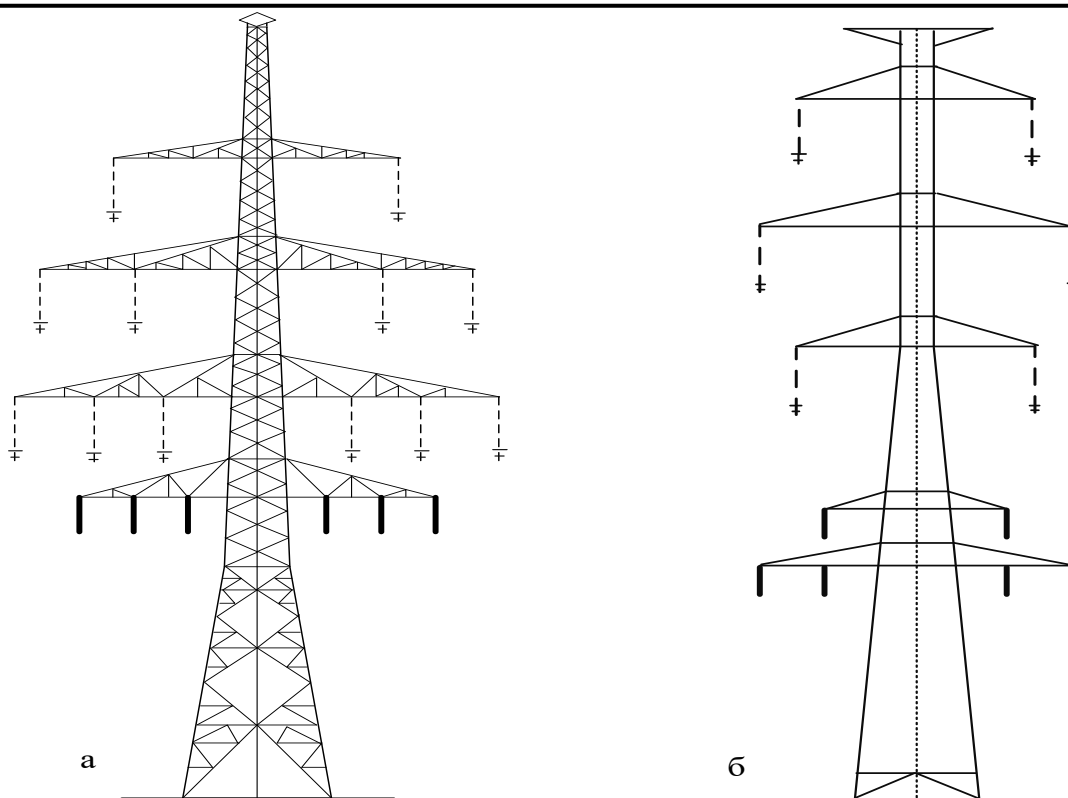


Рисунок 1 – Конструкция опор шестицепной (а) МВЛ  $2 \times 380$  кВ +  $2 \times 220$  кВ +  $2 \times 110$  кВ и четырехцепной (б) линии  $2 \times 400$  кВ +  $2 \times 110$  кВ

В настоящее время в России смонтированы следующие МВЛ:

- четырехцепная линия 110 кВ в сетях “Тюменьэнерго”;
- МВЛ 220-110 кВ, расположенная в Подмосковье;
- трёхцепной участок линии 500 кВ, обеспечивающей передачу мощности от Саяно-Шушенской ГЭС.

Классификация ЛЭП по числу цепей иллюстрируется диаграммой и фотографиями опор, представленными на рисунке 2.

Для реализации МВЛ применяются конструкции опор, отличающиеся материалом, исполнением и способами крепления токоведущих частей. На традиционных линиях одноцепного и двухцепного типов используются типовые конструкции деревянных, металлических и железобетонных опор. Для МВЛ разрабатываются опоры уникального типа, некоторые из которых показаны на рис. 3. Наиболее перспективными для сооружения МВЛ являются многогранные опоры (рис. 3 а, б). На основе использования изолированных проводов могут быть реализованы низковольтные МВЛ (рис. 4).

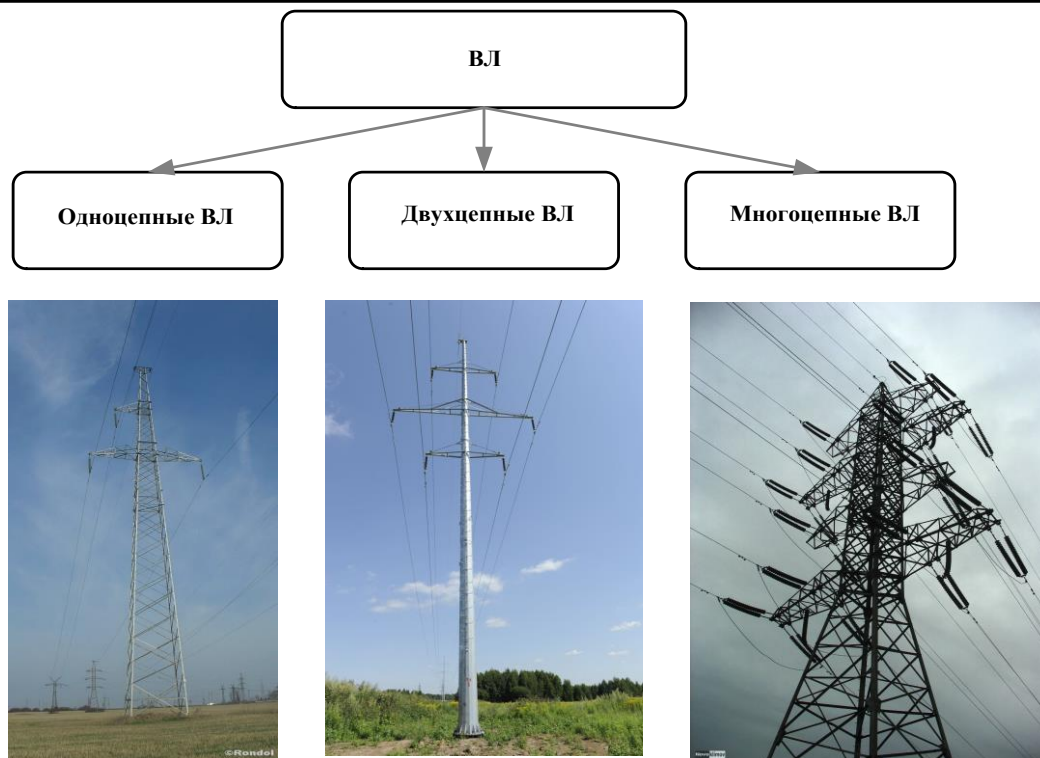


Рисунок 2 – Классификация воздушных линий электропередачи по числу цепей

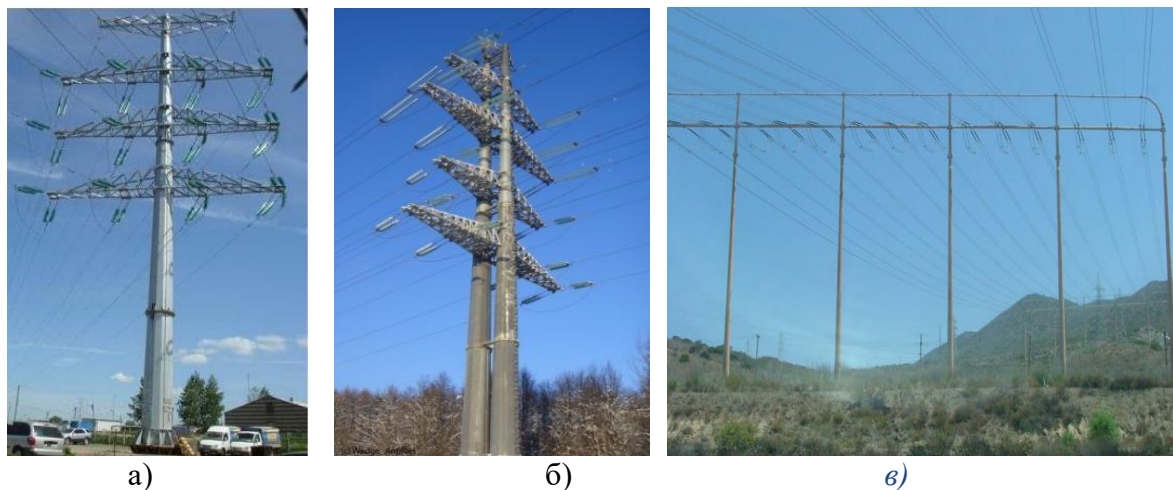


Рисунок 3 – Опоры высоковольтных МВЛ

Обеспечить симметричное расположение проводов на опорах МВЛ затруднительно. Поэтому эти линии отличаются различными величинами индуктивностей и емкостей фаз. Кроме того, из-за близкого расположения проводов разных цепей наблюдаются значительные электромагнитные влияния между ними. Для учета этих факторов моделирование режимов электроэнергетических систем (ЭЭС), оснащенных МВЛ, целесообразно проводить на основе фазных координат [3]. Согласно таким моделям возможно определять режимы с учетом продольных и поперечных

несимметрий и анализировать условия электромагнитной безопасности на трассах многоцепных ЛЭП. Методика является универсальной и может применяться для решения указных задач для МВЛ разных конструкций.



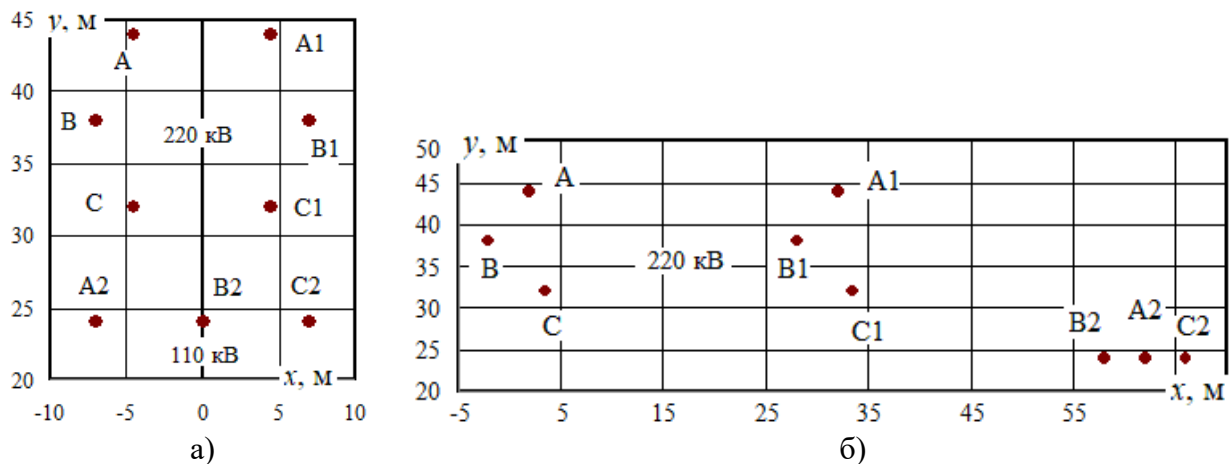
Рисунок 4 – Четырехцепная воздушная линия с изолированными проводами

Актуальность задач по исследованию электроэнергетических систем, оборудованных МВЛ подтверждается большим числом работ, посвященных этим вопросам. Так, например, в статье [6] представлены результаты анализа силового направленного устройства нулевой последовательности для многоцепных линий электропередачи с различными уровнями напряжения. Работы [8, 13] посвящены определению оптимальной фазировки МВЛ. В статье [15] предложена конструкция изоляции для улучшения молниезащиты многоцепных линий электропередачи. В работе [5] проанализировано взаимодействие многоцепных воздушных линий электропередачи разного напряжения, расположенных на одних опорах. Статья [7] посвящена исследованию электромагнитной обстановки на трассах МВЛ. Результаты моделирования переходных процессов на многоцепных воздушных линиях сверхвысокого напряжения представлены в работе [12]. Точный метод определения места повреждения для многоконтурных линий передачи с последовательной компенсацией описан в статье [10]. Изучению влияния короткого замыкания на проводники многоцепной линии электропередачи посвящена работа [11]. Задачи исследования и прогнозирования наведенных напряжений на МВЛ рассмотрены в статьях [9, 14].

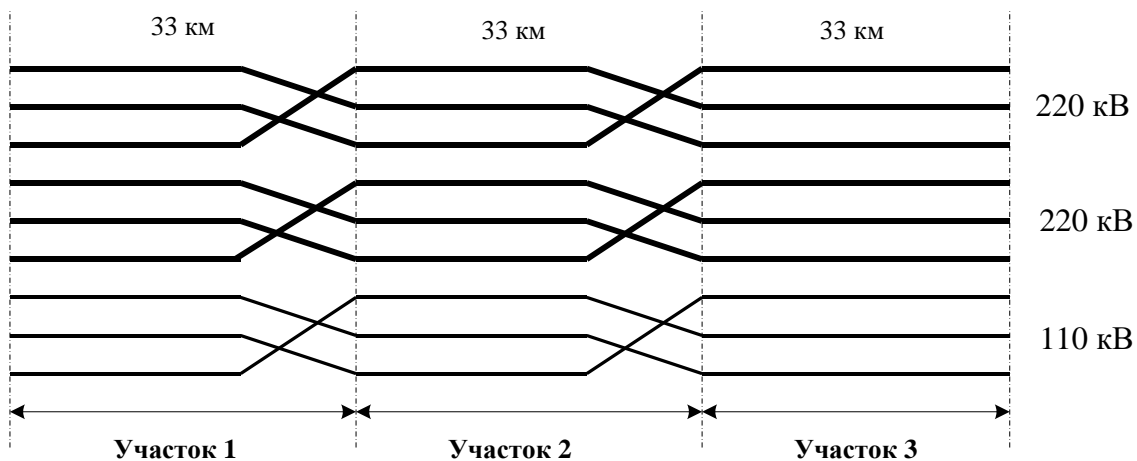
Анализ описанных публикаций позволяет сделать вывод о том, что многие важные вопросы, связанные с разработкой и эксплуатацией МВЛ решены. Однако комплексный метод, позволяющий моделировать режимы и условия электромагнитной безопасности таких линий в известных авторам работах, не предлагается. Ниже представлены результаты исследований, направленных на разработку такого метода. В его основу положены технологии моделирования режимов ЭЭС, описанные в работах [2, 3].

**Результаты моделирования.** В качестве примера МВЛ рассмотрена трехцепная ЛЭП 110-220 кВ, конструкция которой подробно описана в работе [1]. Для моделирования режимов и электромагнитных полей (ЭМП) в фазных координатах использовался комплекс программ Fazonord [3]. В целях сопоставления полученных результатов выполнено определение режимов и ЭМП коридора ЛЭП 110-220 кВ, которые были смонтированы на отдельных опорах. Координаты расположения проводов АС-300 представлены на рисунке 5. Схема, иллюстрирующая способ выполнения транспозиции проводов показана на рис. 6.

Для моделирования использовались расчетные модели, внешний вид которых показан на рис. 7 и 8. В состав этих моделей кроме описанных выше ЛЭП входили трансформаторы 630 МВ·А 15/220 кВ и 200 МВ·А 230/115 кВ. На приемных концах ЛЭП были подключены нагрузки, одинаковые по фазам. В исходном режиме их мощности приняты равными  $50 + j25$  МВ·А для каждой линии 220 кВ и  $20 + j10$  МВ·А для ЛЭП 110 кВ.



**Рисунок 5 – Координаты проводов:**  
а – трехцепная ЛЭП, б – коридор из трех ЛЭП



**Рисунок 6 – Схема транспозиции ЛЭП**

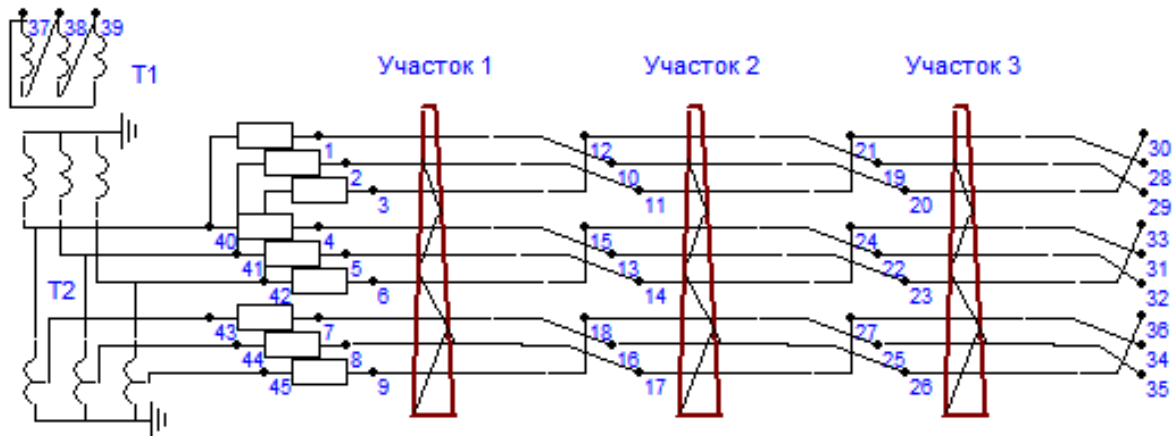


Рисунок 7 – Расчетная схема ПК Fazonord с трехцепной линией

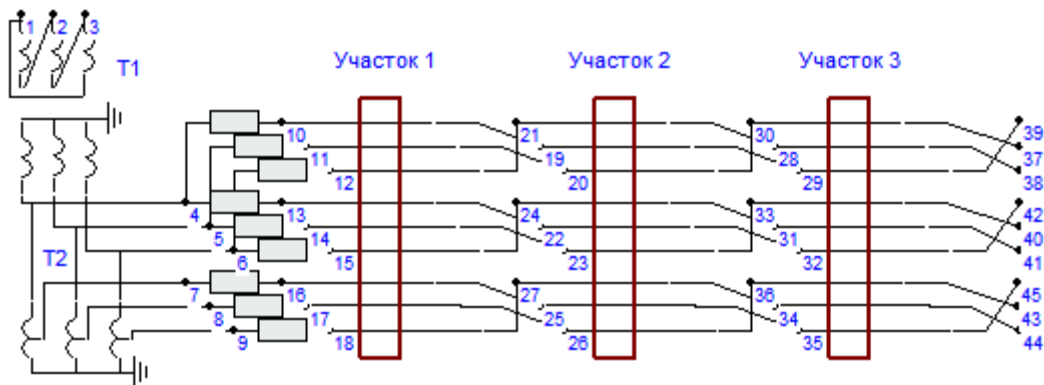


Рисунок 8 – Расчетная схема ПК Fazonord с коридором ЛЭП

В таблицах 1-4 и на рисунке 9 приведены результаты расчета режимов. Мощности потерь приведены суммарно для совокупности линий.

Таблица 1 – Результаты расчета режима трехцепной ЛЭП

Отправные концы ЛЭП					Приемные концы ЛЭП					
Узел	$U$ , кВ	$U$ , °	$I$ , А	$I$ , °	Узел	$U$ , кВ	$U$ , °	$I$ , А	$I$ , °	$S_{\Sigma}$ МВ·А
1	134,7	-3,4	343,2	-30,4	28	118,6	-131,8	471,5	21,6	50+j25
2	134,8	-123,4	342,8	-150,3	29	119,0	108,6	469,7	-98,0	50+j25
3	134,8	116,5	342,7	89,7	30	117,8	-11,7	474,6	141,7	50+j25
4	134,7	-3,4	344,1	-30,6	31	118,1	-132,0	473,3	21,4	50+j25
5	134,8	-123,4	343,7	-150,5	32	118,6	108,4	471,4	-98,2	50+j25
6	134,8	116,5	343,6	89,5	33	117,3	-11,9	476,5	141,5	50+j25
7	66,1	-4,9	290,1	-38,8	34	49,6	-140,9	450,9	12,6	20+j10
8	66,1	-124,9	289,1	-158,8	35	50,2	100,2	445,4	-106,3	20+j10
9	134,7	-3,4	288,5	81,5	36	48,3	-21,0	462,7	132,6	20+j10



**Таблица 2 – Мощности нагрузок, потери и несимметрия трехцепной ЛЭП**

Линия						$\Delta P$ , МВт	$\Delta P$ , %
ЛЭП 220-1		ЛЭП 220-2		ЛЭП-110			
$S_{гр}$ , МВ·А	$k_{\Delta U}$ , %	$S_{гр}$ , МВ·А	$k_{\Delta U}$ , %	$S_{гр}$ , МВ·А	$k_{\Delta U}$ , %		
30+j15	0,03	30+j15	0,04	18+j9	0,06	0,63	0,8
60+j30	0,03	60+j30	0,04	30+j15	0,06	2,47	1,6
90+j45	0,04	90+j45	0,05	36+j18	0,08	5,28	2,4
120+j60	0,05	120+j60	0,05	45+j22,5	0,11	10,1	3,5
150+j75	0,19	150+j75	0,21	60+j30	0,88	19,4	5,4

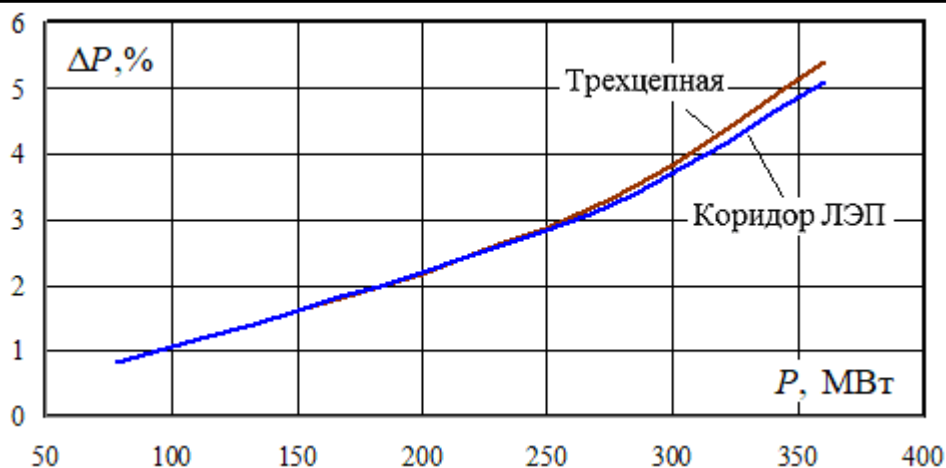
Примечание. Обозначения А, В, С на рис. 5 соответствуют ЛЭП 220-1;  
А1, В1, С1 – ЛЭП 220-2; А2, В2, С2 – ЛЭП 110.

**Таблица 3 – Результаты расчета режима коридора ЛЭП**

Отправной конец линий					Приемный конец линий					
Узел	U, кВ	U, °	I, А	I, °	Узел	U, кВ	U, °	I, А	I, °	$S_{гр}$ , МВ·А
10	132,5	-4,5	449,7	-33,5	37	119,7	-130,9	467,1	22,5	50+j25
11	132,5	-124,5	450,2	-153,5	38	119,7	109,0	467,1	-97,5	50+j25
12	132,5	115,5	450,2	86,4	39	119,9	-10,9	466,4	142,5	50+j25
13	132,5	-4,5	449,7	-33,5	40	119,7	-130,9	467,2	22,5	50+j25
14	132,5	-124,5	450,4	-153,5	41	119,7	109,0	467,1	-97,5	50+j25
15	132,5	115,5	450,3	86,4	42	119,8	-10,9	466,5	142,6	50+j25
16	64,3	-6,6	423,7	-43,2	43	51,4	-138,7	434,8	14,7	20+j10
17	64,3	-126,7	425,9	-163,4	44	51,5	101,2	434,1	-105,4	20+j10
18	64,3	113,4	425,2	76,5	45	51,7	-18,6	432,5	134,9	20+j10

**Таблица 4 – Мощности нагрузок, потери и несимметрия коридора ЛЭП**

Линия						$\Delta P$ , МВт	$\Delta P$ , %
ЛЭП 220-1		ЛЭП 220-2		ЛЭП-110			
$S_{гр}$ , МВ·А	$k_{\Delta U}$ , %	$S_{гр}$ , МВ·А	$k_{\Delta U}$ , %	$S_{гр}$ , МВ·А	$k_{\Delta U}$ , %		
30+j15	0,01	30+j15	0,01	18+j9	0,02	0,62	0,8
60+j30	0,01	60+j30	0,01	30+j15	0,02	2,43	1,6
90+j45	0,01	90+j45	0,01	36+j18	0,02	5,19	2,4
120+j60	0,02	120+j60	0,02	45+j22,5	0,03	9,84	3,4
150+j75	0,03	150+j75	0,03	60+j30	0,11	18,5	5,1



**Рисунок 9 – Зависимости потерь от передаваемой активной мощности**

Результаты, приведенные в таблицах 1-4 и на рисунке 9 свидетельствуют о том, что режимы трехцепной ЛЭП и коридора линий отличаются не очень сильно. Так, например, максимальное различие потерь активной мощности немного больше 5%. При повышенных нагрузках несимметрия МВЛ превышает аналогичный показатель для коридора ЛЭП. Наибольшие различия наблюдаются в цепях 110 кВ. Уровни напряжений в этой цепи ниже, чем в коридоре ЛЭП.

Разные фазировки проводов ЛЭП должны приводить к изменениям электромагнитного поля трехцепной ЛЭП. С помощью направленного перебора вариантов фазировки (табл. 5) можно найти рациональный способ фазирования; однако, из-за наличия транспозиции задача минимизации напряженностей реально осуществима только на одном из участков линии.

Расчеты напряженностей ЭМП выполнены при нагрузках исходного режима для начала первого участка МВЛ и коридора ЛЭП. Результаты расчетов ЭМП проиллюстрированы на рисунках 10-13. Ось координат  $x$  была расположена перпендикулярно трассе линий.

**Таблица 5 – Варианты фазировки проводов первого участка трехцепной линии**

Вариант фазировки	ЛЭП 220-1	ЛЭП 220-2	ЛЭП-110
1	ABC	ABC	ABC
2	CBA	ABC	ABC
3	BCA	ABC	ABC
4	CAB	ABC	ABC
5	ABC	ABC	CBA
6	ABC	ABC	ACB
7	ACB	ACB	ACB



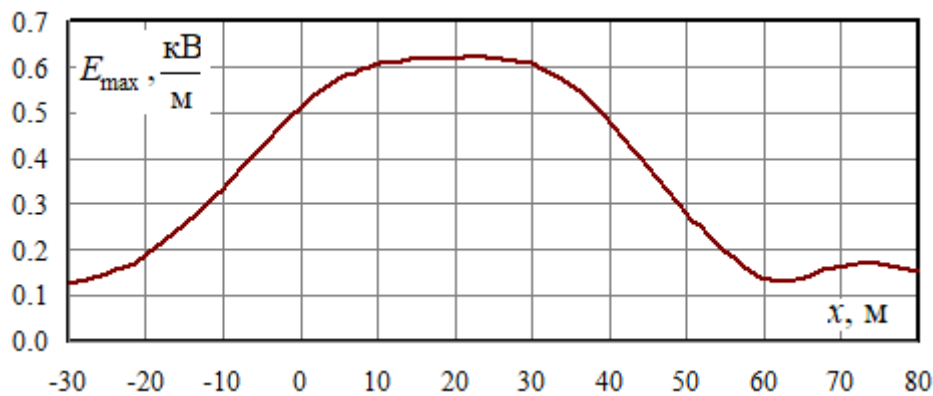


Рисунок 10 – Зависимость амплитуд напряженности электрического поля коридора ЛЭП в начале первого участка от координаты  $x$

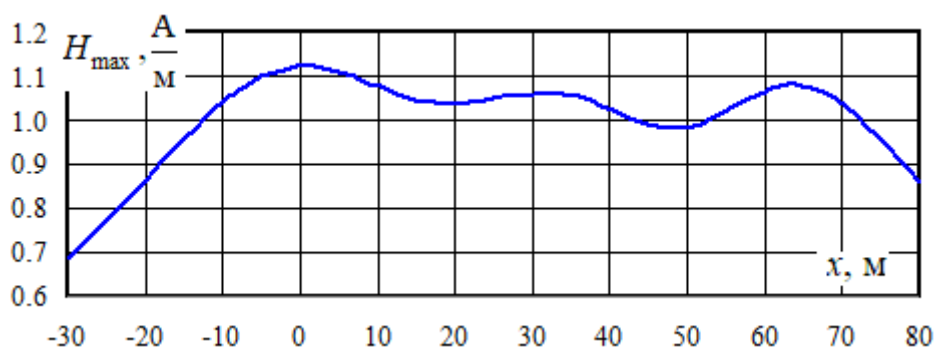


Рисунок 11 – Зависимость амплитуд напряженности магнитного поля коридора ЛЭП в начале первого участка от координаты  $x$

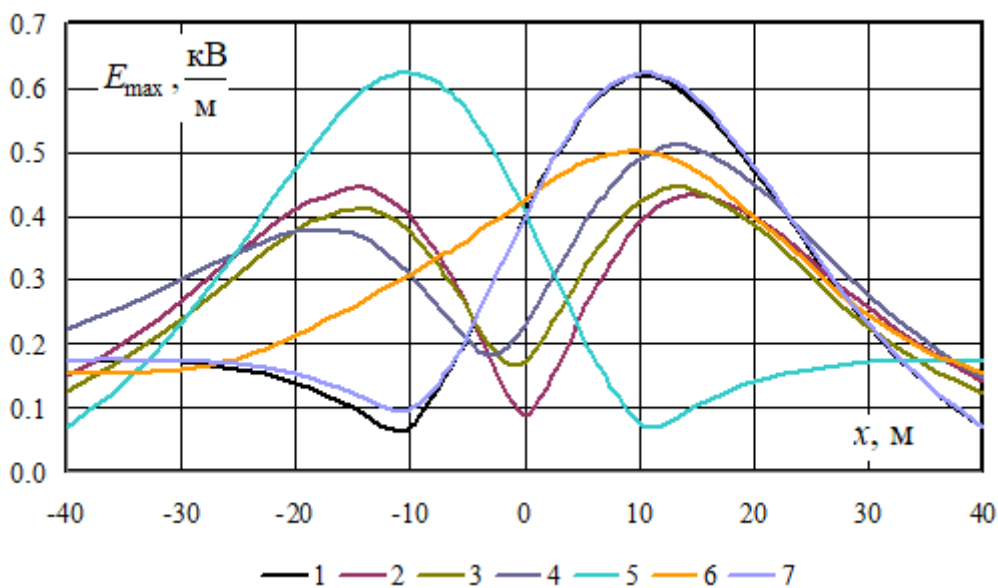


Рисунок 12 – Зависимости амплитуд напряженности электрического поля в начале первого участка трехфазной линии от координаты  $x$  по вариантам фазировки

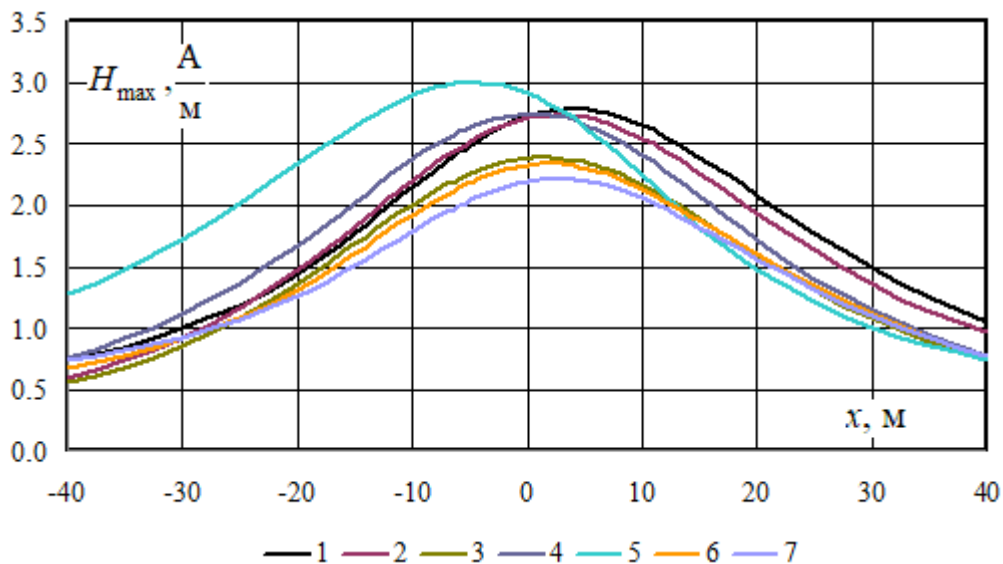


Рисунок 13 – Зависимости амплитуд напряженности магнитного поля в начале первого участка трехцепной линии от координаты  $x$  по вариантам фазировки

Максимумы напряженности электрического поля трехцепной линии и коридора ЛЭП для исходного режима отличаются незначительно. При фазировках проводов, предусмотренных вариантами 2, 3, можно получить заметное уменьшение напряженностей МВЛ в десятиметровом диапазоне изменения координаты  $x$  (рис. 12).

Максимумы напряженностей магнитного поля трехцепной ЛЭП примерно в три раза превышают аналогичный показатель для коридора линий. Однако коридор ЛЭП имеет более широкий диапазон охвата полей поперечного сечения ЛЭП. За счет вариации фазировки трехцепной ЛЭП можно снизить уровни напряженностей магнитного поля, создаваемого ею (рис. 13).

**Заключение.** Предложена методика моделирования режимов и электромагнитных полей многоцепных линий электропередачи, в которых на одной опоре размещаются провода нескольких цепей различного класса напряжений. Методика, основанная на применении фазных координат, является универсальной и может применяться для МВЛ разных конструкций. Ее использование в практике проектирования и эксплуатации электроэнергетических систем позволит обоснованно выбирать рациональные варианты многоцепных линий электропередачи.

#### Список литературы

1. Альтернативные варианты обеспечения электромагнитной безопасности линий электропередачи / Н.Б. Рубцова, М.Ш. Мисриханов, В.Н. Седунов, А.Ю. Токарский // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 14. – № 5(3). – 2012. – С. 839-845.
2. Закарюкин, В.П. Комплексное моделирование мультифазных, многоцепных и компактных линий электропередачи / Закарюкин В.П., Крюков А.В., Тхао Ван Лэ..

Иркутск: ИрГУПС, 2020. – 296 с.

3. Закарюкин, В.П. Мультифункциональный подход к моделированию электроэнергетических систем / В.П. Закарюкин, А.В. Крюков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 4(40). – 2013. – С. 100-107.

4. Чипизубов, Д.И. Режимно-технические ограничения многоцепных компактных воздушных линий 220 кВ / Д.И. Чипизубов, А.М. Константинов // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. Хабаровск: ДВГУПС. Т. 1, 2018. – С. 257-264.

5. Alexander Novitskiy, Dirk Westermann. Interaction of multi-circuit overhead transmission lines of different voltages located on the same pylons. 2012 Electric Power Quality and Supply Reliability. 2012 Publisher: IEEE.

6. Bing Zhang, Cheng Wu, Xiaobo Wang, Linlin Ma, Liang Wang, Xiaodong Chu. Analysis of zero sequence power directional unit for multi-circuit transmission lines with different voltage levels. 2017 Chinese Automation Congress (CAC). 2017 Publisher: IEEE.

7. Guihong Feng, Yanxin Wang, Bingyi Zhang. Study on Electromagnetic Environment of Multi-circuit Transmission Lines on Same Tower. 2008 Joint International Conference on Power System Technology and IEEE Power India Conference. 2008 Publisher: IEEE.

8. Helong Li, Xueming Wang, Jinquan Zhao, Zhibin Zheng. The optimal phase sequence arrangement of multicircuit transmission lines on the same tower. 2017 13th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD). 2017 Publisher: IEEE.

9. Ping Huang, Letian Wang, Miao Long, Xu Jiang. Prediction of Induced Voltage and Current of 500kV Multi-circuit Transmission Lines Based on Extreme Random Tree Algorithm. 2021 IEEE 2nd China International Youth Conference on Electrical Engineering (CIYCEE). 2021 Publisher: IEEE.

10. Swaroop Gajare, Ashok Kumar Pradhan. An accurate fault location method for multi-circuit series compensated transmission lines. 2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting. 2017 Publisher: IEEE.

11. T. Nazarcik, Z. Benesova. The influence of the short circuit on the parallel conductors of the multi-circuit transmission line. 2018 19th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). 2018 Publisher: IEEE.

12. Tomáš Nazarčík, Zdeňka Benešová. Modelling of the transients on the multi-circuit EHV/HV overhead transmission lines. 2017 18th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE). 2017 Publisher: IEEE.

13. Xiaoke Chen, Xiangwen Cheng, Jinquan Zhao, Jing Zhang, Xi He. Optimal phase sequence of multi-circuit transmission lines on the same tower. 2017 13th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD). 2017 Publisher: IEEE.

14. Yingjin Li, Letian Wang, Miao Long, Hang Geng. Research on Induced Voltage and Current of 500kV Multi-circuit Transmission Lines on the Same Tower Based on Ridge Regression. 2021 IEEE 2nd China International Youth Conference on Electrical Engineering (CIYCEE). 2021 Publisher: IEEE.

15. Zhen Li, Zhanqing Yu, Xi Wang, Jinliang He. A design of unbalanced insulation to improve the lightning performance of multi-circuit transmission lines. 2012 International Conference on Lightning Protection (ICLP). 2012 Publisher: IEEE.

### References

1. Rubtsova, N.B. et all. Al'ternativnye varianty obespecheniya elektromagnitnoj bezopasnosti linij elektroperedachi [Alternative options for ensuring electromagnetic safety of power transmission lines]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. Vol. 14, no. 5(3).

2012, pp. 839-845.

2. Zakaryukin, V.P., et all. Kompleksnoe modelirovanie mul'tifaznyh, mnogocepnyh i kompaktnyh linij elektroperedachi [Complex modeling of multiphase, multi-chain and compact power transmission lines]. Irkutsk, 2020, 296 p.

3. Zakaryukin, V.P., Kryukov, A.V. Mul'tifunktional'nyj podhod k modelirovaniyu elektroenergeticheskikh sistem [Multifunctional approach to modeling electric power systems]. Mul'tifunktional'nyj podhod k modelirovaniyu elektroenergeticheskikh sistem. No. 4(40), 2013, pp. 100-107.

4. Chipizubov, D.I., Konstantinov, A.M. Rezhimno-tehnicheskie ogranicheniya mnogocepnyh kompaktnyh vozdushnyh linij 220 kV [Regime and technical limitations of multi-circuit compact overhead lines 220 kV]. Khabarovsk, vol. 1, 2018, pp. 257-264.

Дата поступления в редакцию 15.09.2022, дата принятия в печать 30.09.2022.

#### **Сведения об авторах**

**Крюков Андрей Васильевич** – доктор технических наук, академик Российской академии транспорта, член-корр. Российской инженерной академии, профессор кафедры электроэнергетики транспорта факультета систем обеспечения транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Чернышевского 15); профессор кафедры электроснабжения и электротехники Иркутского национального исследовательского технического университета (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83. тел. 89025138723, and\_kryukov@mail.ru).

**Суслов Константин В.** – доктор технических наук, заведующий кафедрой электроснабжения и электротехники Иркутского национального исследовательского технического университета (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83. тел. 89148704673, Dr.Souslov@yandex.ru).

**Лэ Ван Тхао** – кандидат технических наук, магистр техники и технологии, научный сотрудник Военно-технического института автоматизации (Социалистическая Республика Вьетнам, г. Ханой, vanthaoirk@mail.ru).

**Чан Зюй Хынг** – кандидат технических наук, декан факультета электротехники и электроники Военно-промышленного колледжа (Социалистическая Республика Вьетнам, г. Ханой, тел. 0969129536, tranduyhung86@mail.ru).

#### **Information about authors**

**Kryukov Andrey V.** – Doctor of Technical Sciences, Academician of the Russian Academy of Transport, corresponding member Russian Academy of Engineering, professor at the Department of Electrical Power Engineering of the Transport Faculty of Transport Support Systems. Irkutsk State Transport University (15, Chernyshevsky St., Irkutsk, Russia, 664074,); Professor, Department of Power Supply and Electrical Engineering. Irkutsk National Research Technical University (83, Lermontov St., Irkutsk, Russia, 664074, tel. 89025138723, and\_kryukov@mail.ru).

**Suslov Konstantin V.** – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Irkutsk National Research Technical University (83, Lermontov St., Irkutsk, Russia, 664074, tel. 89148704673, Dr.Souslov@yandex.ru).

**Le Van Thao** – Ph.D., Master of Engineering and Technology, Research Fellow, Institute of Military Technical Automation (Hanoi City, Socialist Republic of Vietnam, vanthaoirk@mail.ru).

**Chan Zui Hyng** – Ph.D., Dean of the Faculty of Electrical Engineering and Electronics. Military Industrial College (Hanoi City, Socialist Republic of Vietnam, tel. 0969129536, tranduyhung86@mail.ru).

**Требования**  
**к статьям, публикуемым в электронном научно-практическом журнале**  
**“Актуальные вопросы аграрной науки”**

**Условия опубликования статьи**

1. Представленная для публикации статья должна быть актуальной, обладать новизной, содержать постановку задач (проблем), описание основных результатов исследования, полученных автором, выводы.
2. Соответствовать правилам оформления.
3. Автор может опубликовать одну статью в полугодие и два раза в год в соавторстве.

**Правила оформления статьи**

1. Статья направляется в редакцию журнала по адресу: 664038, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, редакция научно-практических журналов, зам. главного редактора, ауд. 229, e-mail: buraev@mail.ru), тел. 8(3952)237491, 89500904493.
2. Статья представляется в бумажном и электронном виде в формате Microsoft Word. Бумажный вариант должен полностью соответствовать электронному. При наборе статьи необходимо учитывать следующее: форматирование по ширине; поля: справа и слева – по 23 мм, остальные – 20 мм, абзацный отступ – 10 мм.
3. Текст статьи должен быть тщательно вычитан и подписан автором, который несет ответственность за научно-теоретический уровень публикуемого материала. 4. Нумерация страниц обязательна.

**Структура статьи**

1. УДК размещается в левом верхнем углу: полужирный шрифт, размер – 12 пт.
2. Название статьи (ПРОПИСНЫМИ БУКВАМИ), полужирный шрифт, 14 кегль, межстрочный интервал – 1.0.
3. И.о. фамилия автора, полужирный шрифт, 12 кегль.
4. Название организации, кафедры, 12 кегль, межстрочный интервал – 1.0.
5. Аннотация статьи должна отражать основные положения работы и содержать от 200 до 250 слов (шрифт – Times New Roman, размер – 12 пт, интервал – 1.0).
6. После аннотации располагаются ключевые слова (шрифт – Times New Roman, курсив, размер – 12 пт.).
7. Далее: пункты 1, 2, 3, 4, 5, 6 дублируются на английском языке.
8. Основной текст статьи – шрифт Times New Roman, размер – 14 пт., межстрочный интервал – 1.0 пт.
9. В конце статьи размещается список литературы (по алфавиту) на русском языке, оформленный в соответствии с ГОСТ 7.1 - 2003.
10. Далее – транслитерация всего списка литературы.
11. Ссылки на литературу приводятся в тексте в квадратных скобках.
12. Благодарность(и) или указание(я) на какие средства выполнены исследования, приводятся в конце основного текста после выводов (шрифт Times New Roman, 12 пт.).
13. Оформление графиков и таблиц согласно стандарту (ГОСТ 7.1 - 2003).
14. Набор формул осуществляется в MicrosoftEquation в версии не ниже 3.0.
15. Сведения об авторе(ах): фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, ученое звание, должность, место работы (место учебы или соискательство), контактные телефоны, e-mail, почтовый индекс и адрес учреждения.

**Сопроводительные документы к статье**

1. Заявление от имени автора (ров) на имя главного редактора научно-практического

журнала “Актуальные вопросы аграрной науки”, внутренняя и внешняя рецензии на статью. Сопроводительное письмо от организации, в которой работает автор (ы).

2. Для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук необходима рекомендация, подписанная лицом, имеющим ученую степень и заверенная печатью учреждения. В рекомендации отражается актуальность раскрываемой проблемы, оценивается научный уровень представленного материала и делаются выводы о возможности опубликования статьи в научно-практическом журнале “Актуальные вопросы аграрной науки”.

### **Регистрация статей**

1. Поступившая статья регистрируется в общий список по дате поступления.
2. Автор(ы) извещаются по e-mail или по контактному телефону о публикации статьи(ей) в соответствующем выпуске.
3. Зам. главного редактора в течение 7 дней уведомляет автора(ов) о получении статьи.

### **Порядок рецензирования статей**

1. Научные статьи, поступившие в редакцию, проходят рецензирование.
2. Формы рецензирования статей:
  - внутренняя (рецензирование рукописей статей членами редакционной коллегии);
  - внешняя (направление на рецензирование рукописей статей ведущим специалистам в соответствующей отрасли).
3. Зам. главного редактора определяет соответствие статьи профилю журнала, требованиям к оформлению и направляет ее на рецензирование специалисту (доктору или кандидату наук), имеющему наиболее близкую к теме статьи научную специализацию.
4. Сроки рецензирования в каждом отдельном случае определяются зам. главного редактора с учетом создания условий для максимально оперативной публикации статьи.
5. В рецензии должны быть освещены следующие вопросы:
  - соответствует ли содержание статьи заявленной в названии теме;
  - насколько статья соответствует современным достижениям научно-теоретические мысли;
  - доступна ли статья читателям, на которых она рассчитана с точки зрения языка, стиля, расположения материала, наглядности таблиц, диаграмм, рисунков и т.д.;
  - целесообразна ли публикация статьи с учетом ранее выпущенной по данному вопросу научной литературы;
  - в чем конкретно заключаются положительные стороны, а также недостатки; какие исправления и дополнения должны быть внесены автором;
  - вывод о возможности опубликования данной рукописи в журнале: “рекомендуется”, “рекомендуется с учетом исправления отмеченных рецензентом недостатков” или “не рекомендуется”.
6. Рецензии заверяются в порядке, установленном в учреждении, где работает рецензент.
7. В случае отклонения статьи от публикации редакция направляет автору мотивированный отказ.
8. Статья, не рекомендованная рецензентом к публикации, к повторному рассмотрению не принимается. Текст отрицательной рецензии направляется автору по электронной почте, факсом или обычной почтой.
9. Наличие положительной рецензии не является достаточным основанием для публикации статьи. Окончательное решение о целесообразности публикации принимается редакционной коллегией.
10. После принятия редколлегией решения о допуске статьи к публикации зам. главного редактора информирует об этом автора и указывает сроки публикации.

11. Оригиналы рецензий хранятся в редакции журнала.

#### **Порядок рассмотрения статей**

1. Представляя статью для публикации, автор тем самым выражает согласие на размещение полного ее текста в сети Интернет на официальных сайтах научной электронной библиотеки ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)) и научно-практического журнала “Актуальные вопросы аграрной науки”.

2. Статьи принимаются по установленному графику:

- в № 1 (март) – до 1 января текущего года;
- в № 2 (июнь) – до 1 апреля текущего года;
- в № 3 (сентябрь) – до 1 июня текущего года;
- в № 4 (декабрь) – до 1 сентября текущего года.

В исключительных случаях, по согласованию с редакцией, срок приема статьи в ближайший номер может быть продлен, не более, чем на три недели.

3. Поступившие статьи рассматриваются редакционной коллегией в течение месяца.

4. Редакционная коллегия правомочна отправить статью на дополнительное рецензирование.

5. Редакционная коллегия правомочна осуществлять научное и литературное редактирование поступивших материалов, при необходимости сокращать их по согласованию с автором, либо, если тематика статьи представляет интерес для журнала, направлять статью на доработку автору.

6. Редакционная коллегия оставляет за собой право отклонить статью, не отвечающую установленным требованиям оформления или тематике журнала.

7. В случае отклонения представленной статьи редакционная коллегия дает автору мотивированное заключение.

8. Автор(ы) в течение 7 дней получают уведомление о поступившей статье. Через месяц после регистрации статьи, редакция сообщает автору(рам) о результатах рецензирования и о плане публикации статьи.

Подробную информацию об оформлении статей можно получить по e-mail: [iymex@rambler.ru](mailto:iymex@rambler.ru).

**ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

**“АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ АГРАРНОЙ НАУКИ”**

**Выпуск 44**  
**Сентябрь**

**Литературный редактор – В.И. Тесля**  
**Технический редактор – Н.В. Спиридонова**  
**Перевод – П.Г. Асалханов**

Лицензия на издательскую деятельность  
ЛР № 070444 от 11.03.98 г.  
Дата выхода: 04.10.2022 г.  
Почтовый адрес редакции:  
664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский район, п. Молодежный.  
Тел. (3952) 237-491