

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетінің
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова

ШМУ ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК ПГУ

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

№ 3 (2018)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова

Энергетическая серия

выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВОО постановке на учет, переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 17022-Ж

выдано

Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан

Тематическая направленностьпубликация материалов в области электроэнергетики, электротехнологии,
автоматизации, автоматизированных и информационных систем,
электромеханики и теплоэнергетики**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Нефтисов А. В., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Антонцев А. В., *магистр***Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Боровиков Ю. С.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Горюнов В. Н.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Говорун В. Ф.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Бороденко В. А.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Марковский В. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Хацевский В. Ф.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Шокубаева З. Ж.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник ПГУ» обязательна

МАЗМҰНЫ

Адамова А. Д., Жукабаева Т. К., Ху Вен-Цен Робототехникалық жүйелерді жасау және моделдеу	9
Алимгазин А. Ш., Бергузинов А. Н., Шарыпов А. С. Когенерация пайдаланумен жылуфикациялық қондырғылар жұмысының энергетикалық тиімділігін арттыру	24
Альжанов Б. А. Экскаваторлардың электр жетектерінде энергияны үнемдеу мақсатында жиілікті түрлендіргіштерді қолдану	32
Ибраев А. С., Смайлов Н. К. Көліктерге арналған инерциалдық навигация бағдарламалық-математикалық кешенін жасау	40
Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Марковский В. П. Түрлендіргіштермен желілерде жоғары жиілікті құрайтын белсенді сүзгілермен төмендету	54
Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Марковский В. П. Өнеркәсіптік желілердің электромагниттік жағдайында жақсаруы және синусоидальды бұрмалау мәселелері	67
Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Марковский В. П. Симметриялы еместің төмендеуі және электротехникалық жүйелерде жарқылдың өсері.....	76
Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Марковский В. П. Статикалық тиристорлы компенсаторлардың рұқсат етілген режимдері және белсенді сүзгі өтемі құрылғылар	85
Кислов А. П., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П. Қашықтық филиалдарды және мобильдік қызметкерлерді қосуға арналған «TNS-INTEC» ЖШС үшін VPN технологиялары	95
Кислов А. П., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П. Тарту желілерінде апатты төмендету үшін қысқа тұйықталудың бірнеше белгілері бойынша қорғаулар құрастыру	104
Марковский В. П., Потапенко О. Г., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Кислов А. П., Шапкенов Б. К. 4G LTE технологиясының мультисервистік желісінің техникалық сипаттамаларын эксперименттік бағалау	113
Марковский В. П., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Кулумбеков С. Ж. Түрлі сипаттағы энергия көздерінің векторлы түйіндесуі	122
Марковский В. П., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Кулумбеков С. Ж. Жел қондырғыларымен автономды электрмен жабдықтау жүйелерінің қалыпты жұмыс режимін бұзу себептері	132

Саятов Ә. А., Жумадилова А. К. Электр желілерінің оқшаулау параметрлерін анықтауға арналған автоматты құрылғыны әзірлеу	144
Сериков Т. Г., Оразбек А. Б., Тұрсынәлі М. М. Netcracker бағдарламасында локальды есептеу желілерін модельдеу жұмыстарын жүргізу	153
Серіков Т. Ф., Сабитова А. Ж. ZigBee – ақылды үйге арналған сымсыз технология	161
Степанов В. С., Глазырина Н. С. Ғимараттың ішінде бағдарлауға арналған қосымшаны дамыту	171
Сулейменова Г. О., Балтымиев С. М., Ыбраева Ф. С., Абдраманова Ж. Г. Батыс Қазақстандағы жел энергиясын қолданылуының тиімділігі	180
Сулейменова Г. О., Балтымиев С. М., Ыбраева Ф. С., Абдраманова Ж. Г. Ақмола облысында суды жылыту үшін күн радиациясының энергиясын пайдалану тиімділігіне негіздеме	189
Ускенбаев Д. Е., Нозгай А. С., Алимкулова Э. Ж., Алқожа Е., Мухамедрахимова Г. А., Исабекова Б. Б. Металл иондарының энергия сақтау құрылғылары үшін металл фосфаттарының негізінде катодты материалдар алу	198
Устемирова Р. С., Аманова М. В. Теміржол учаскелерінде байланыстағы жүк поездарының қалыптасуының және өтуінің өнімділігін бағалау әдістемесі	206
Фураева И. И., Глазырина Н. С., Кунаева Ж. Х. Қазақ тілінің сандық-білім ресурстарының мобильді қолдануды дамыту	215
Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Марковский В. П., Кислов А. П. Электр көлікте электр жетектерінің механикалық бөліктерінің тиімді динамикалық үлгілерін әзірлеу	225
Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Марковский В. П., Кислов А. П. Электр көлігінде электр жетектерінің электромеханикалық бөлігінің екі түрлі үлгі нұсқасы	241
Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Марковский В. П., Кислов А. П. Электромагниттік процестер қозғалтқыш түрлендіргіш тарту жүйесінде ...	249
Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Марковский В. П., Кислов А. П. Имитациялық моделінде қалалық электр тасымалдау жүйесінің апатты режимдері	260
Пшембаев М. К. Жолдарда көктайғақтың орнауы және онымен механикалық-химиялық әдіспен күрес	273
Пшембаев М. К. Бетонды жолдарға арналған ингибиторлық тайғаққа қарсы материал	294
Саканов Д. К., Аспанбетов Д. А. Цемент-бетон төсеу процесінде бетонның беріктік сипаттамалары.....	302
Саканов Д. К., Саканов К. Т. Қазақстан Республикасында цемент-бетон жамылғысы бар жолдарды салу тәжірибесі	313
Авторларға арналған ережелер.....	321

СОДЕРЖАНИЕ

Адамова А. Д., Жукабаева Т. К., Ху Вен-Цен Разработка и моделирование робототехнических систем	9
Алимгазин А. Ш., Бергузинов А. Н., Шарыпов А. С. Повышение энергоэффективности работы теплофикационной установки с применением когенерации	24
Альжанов Б. А. Применение преобразователей частоты с целью энергосбережения в электроприводах экскаваторов	32
Ибраев А. С., Смайлов Н. К. Разработка ПМО инерциальной навигации для транспортных средств	40
Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Марковский В. П. Снижение высокочастотных составляющих активными фильтрами в сетях с преобразователями	54
Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Марковский В. П. Проблемы искажения синусоидальности и улучшение электромагнитной обстановки в промышленных сетях	67
Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Кислов А. П. Снижение несимметрии и фликера эффекта в электротехнических системах	76
Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Кислов А. П. Допустимые режимы статических тиристорных компенсаторов и активных фильтрокомпенсирующих устройств	85
Кислов А. П., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П. Технологии VPN для ТОО «TNS-INTEC» для подключения удаленных филиалов и мобильных сотрудников	95
Кислов А. П., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П. Построение защиты по нескольким признакам короткого замыкания для снижения аварийности в тяговых сетях	104
Марковский В. П., Потапенко О. Г., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Кислов А. П., Шапкенов Б. К. Экспериментальная оценка технических характеристик мультисервисной сети технологии LTE 4G	113
Марковский В. П., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Кислов А. П., Кулумбеков С. Ж. Векторное сопряжение разнохарактерных источников энергии	122
Марковский В. П., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Кулумбеков С. Ж. Причины нарушения нормального режима работы автономных систем электропитания с ветровыми установками	132
Саятов Ә. А., Жумадилова А. К. Разработка устройства автоматического определения параметров	

изоляция электрических сетей	144
Сериков Т. Г., Оразбек А. Б., Тұрсынәлі М. М. Ведение моделирования локально-вычислительной сети в программе Netcracker Professional	153
Серіков Т. Ғ., Сабитова А. Ж. ZigBee – технология беспроводной связи для умного дома	161
Степанов В. С., Глазырина Н. С. Разработка приложения для навигации внутри помещения	171
Сулейменова Г. О., Балтымиев С. М., Ыбраева Ф. С., Абдраманова Ж. Г. Эффективность применения энергии ветра в Западном Казахстане	180
Сулейменова Г. О., Балтымиев С. М., Ыбраева Ф. С., Абдраманова Ж. Г. Обоснование эффективности использования энергии солнечного излучения для нагрева воды в Акмолинской области	189
Ускенбаев Д. Е., Ногай А. С., Алимкулова Э. Ж., Алқожа Е., Мухамедрахимова Г. А., Исабекова Б. Б. Получение фосфатов металлов для применения в накопителях электрической энергии	198
Устемирова Р. С., Аманова М. В. Способ оценки производительности формирования и пропуска соединенных грузовых поездов на железнодорожных участках	206
Фураева И. И., Глазырина Н. С., Кунаева Ж. Х. Разработка мобильного приложения цифрового образовательного ресурса по казахскому языку	215
Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Марковский В. П., Кислов А. П. Разработка эффективной динамической модели механической части приводов в электротранспорте	225
Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Марковский В. П., Кислов А. П. Два различных модельных варианта электромеханической части приводов в электротранспорте	241
Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Марковский В. П., Кислов А. П. Электромагнитные процессы в тяговой системе двигатель-преобразователь	249
Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Марковский В. П., Кислов А. П. Аварийные режимы системы городского электрического транспорта на имитационной модели	260
Пшембаев М. К. Образование зимней скользкости на дорогах и механо-химические методы борьбы с ней	273
Пшембаев М. К. Ингибированный противогололедный материал для бетонных дорог	294
Саканов Д. К., Аспанбетов Д. А. Прочностные характеристики цементобетонного покрытия в процессе укладки	302
Саканов Д. К., Саканов К. Т. Опыт строительства автомобильных дорог с цементобетонным покрытием в Республике Казахстан	313
Правила для авторов	321

CONTENT

Adamova A. D., Zhukabayeva T. K., Khu Ven-Tsen Development and modeling of robotic systems	9
Alimgazin A. Sh., Berguzinov A. N., Sharypov A. S. Increase of energy efficiency of thermal facility unit operation with cogeneration application	24
Alzhanov B. A. Application of frequency converters for the purpose of energy saving in electric drives of excavators	32
Ibrayev A. S., Smailov N. K. Development of software-mathematical support of inertial navigation for vehicles	40
Kaidar A. B., Kaidar M. B., Shapkenov B. K., Kislov A. P., Markovsky V. P. Reduction of high frequency components active filters in networks with frequency converter	54
Kaidar A. B., Kaidar M. B., Shapkenov B. K., Kislov A. P., Markovsky V. P. The problems of harmonic distortion and the improvement of the electromagnetic environment in industrial networks	67
Kaidar A. B., Kaidar M. B., Shapkenov B. K., Markovsky V. P., Kislov A. P. Reduced asymmetry and flicker effects in electrical systems	76
Kaidar A. B., Kaidar M. B., Shapkenov B. K., Markovsky V. P., Kislov A. P. Valid modes of the static VAR compensator and active filter and compensating devices	85
Kislov A. P., Kaidar A. B., Kaidar M. B., Shapkenov B. K., Markovsky V. P. VPN technologies for «TNS-INTEC» LLP for connection of remote branches and mobile staff	95
Kislov A. P., Kaidar A. B., Kaidar M. B., Shapkenov B. K., Markovsky V. P. The construction of protection according to several characteristics of short-circuit protection for the reduction of accidents in traction networks ..	104
Markovsky V. P., Potapenko O. G., Kaidar A. B., Kaidar M. B., Kislov A. P., Shapkenov B. K. Experimental evaluation of technical characteristics of multiservice network of LTE 4G technology	113
Markovsky V. P., Kaidar A. B., Kaidar M. B., Shapkenov B. K., Kislov A. P., Kulumbenov S. Zh. Vector coupling of different energy sources	122
Markovsky V. P., Kaidar A. B., Kaidar M. B., Shapkenov B. K., Kislov A. P., Kulumbenov S. Zh. Causes of disruption of the normal operation of autonomous power supply systems with wind turbines	132

Sayatov A. A., Zhumadirova A. K. Development of the device for automatic identification of power lines insulation parameters	144
Serikov T. G., Orazbek A. B., Tursinaly M. M. Simulation of the local-computer network in the Netcracker Professional program	153
Serikov T. G., Sabitova A. Zh. ZigBee – wireless technology for smart home	161
Stepanov V. S., Glazyrina N. S. Development of an application for navigation in the room	171
Suleimenova G. O., Baltymov S. M., Ybraeva F. S., Abdramanova Zh. G. The effectiveness of utilizing wind energy in the Western Kazakhstan	180
Suleimenova G. O., Baltymov S. M., Ybraeva F. S., Abdramanova Zh. G. Substantiation of solar energy use efficiency for water heating in Akmola region	189
Uskenbaev D. E., Nogay A. S., Alymkulova E. J., Alkoja E., Mukhamedrahimova G. A., Issabekova B. B. Obtaining cathode materials based on metal phosphates for metal-ion energy storage devices	198
Ustemirova R. S., Amanov M. V. Method for assessing the productivity of the formation and passage of connected freight trains in railway sections	206
Furayeva I. I., Glazyrina N. S., Kunayeva Zh. Kh. Development of a mobile application of the digital educational resource for the Kazakh language	215
Shapkenov B. K., Kaidar A. B., Kaidar M. B., Markovsky V. P., Kislov A. P. Development of an effective dynamic model of the mechanical part of the drives in electric transport	225
Shapkenov B. K., Kaidar A. B., Kaidar M. B., Markovsky V. P., Kislov A. P. Two different model variants of electromechanical part of drives in electrical transport	241
Shapkenov B. K., Kaidar A. B., Kaidar M. B., Markovsky V. P., Kislov A. P. Electromagnetic processes in the traction motor-converter system	249
Shapkenov B. K., Kaidar A. B., Kaidar M. B., Markovsky V. P., Kislov A. P. Emergency modes of urban electric transport system on the simulation model	260
Pshenbayev M. K. The formation of winter slippery conditions on the roads and mechanical and chemical methods of dealing with it.....	273
Pshenbayev M. K. Inhibited de-icing material for concrete roads.....	294
Sakanov D. K., Aspanbetov D. A. Strength characteristics of cement concrete paving in the process of laying...302	
Sakanov D. K., Sakanov K. T. Experience in the construction of roads with cement concrete pavement i n the Republic of Kazakhstan.....	313
Rules for authors	321

ГРНТИ 55.30.05

А. Д. Адамова¹, Т. К. Жукабаева², Ху Вен-Цен³

¹PhD, зав. кафедрой «Вычислительная техника и программное обеспечение», Казахский аграрный университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

²PhD, и.о. доцента, кафедра «Вычислительная техника», Факультет информационных технологий, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

³д.т.н., профессор, Высшая школа информационных технологий и энергетики, Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, Шымкент, 160000, Республика Казахстан

e-mail: ¹aigul.dyusenbinovna@gmail.com; ²tamara.kokenovna@gmail.com;

³qbcba@bk.ru

**РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Разработка робототехнических систем связана с необходимостью выполнения большого объёма работы. При этом выбор подходящей платформы и программного обеспечения полностью определяют содержание и эффективность процесса разработки.

На сегодняшний день робототехнические системы близкие по архитектуре, функциональным и конструктивным характеристикам находят применение в различных областях, в связи с чем возникает задача разработки общей структуры для всех типов проектов и инструментальных средств для их разработки. Предпринимаются интенсивные усилия по определению общей структуры в роботизированных приложениях, как с концептуальной, так и с точки зрения внедрения. Однако из-за разнообразия существующих приложений, а также участвующих исследовательских групп общая структура еще далека от принятия.

В предлагаемой статье обсуждаются различные функции, которые необходимы для робототехники и приводится сравнительный анализ доступных программных обеспечений.

Ключевые слова: робототехника, архитектура роботизированной системы, программное обеспечение для моделирования роботов.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день робототехника представляет собой высокотехнологическую, инженерную отрасль, которая успешно развивается во многих передовых странах. Робототехнические системы повышают производительность и конкурентоспособность, монотонная и повторяющаяся работа передается от человека к машине, тем самым способствуя развитию промышленности, автомобилестроения, медицины, военного дела, космонавтики и многих других областей. Наиболее технологически развитые страны мира начали переход к робототизированным системам. В Республике Казахстан также основным элементом для популяризации технологий «Индустрии 4.0» считается разработка и внедрение роботизированных систем, что в перспективе 10–15 лет может внести ощутимые изменения в реальный сектор [1].

В современном проектировании робототехнических систем возрастает сложность архитектуры, потребность в вычислительной мощности, требует распределенной и модульной организации архитектуры системного программного обеспечения. Притом, что эти системы должны учитывать классические проблемы промышленной робототехники, связанные с датчиками и исполнительными механизмами.

В соответствии с этим, основные требования, которым должна удовлетворять программное обеспечение (и его компоненты) сложной роботизированной системы включают:

- параллельную и распределенную архитектуры;
- модульность;
- безопасность и отказоустойчивость;
- реальное время и эффективность.

В процессе разработки архитектуры системы управления роботом необходима прозрачность управляющих систем. Важную роль играет масштабируемость, многообразие, эффективность и отказоустойчивость. Наиболее важным фактором успеха при разработке архитектуры системы управления роботом является использование механической платформы, датчиков, двигателей, механизмов движения, источников питания, электронного управления, системы микроконтроллеров, сервоприводов, языков программирования, пневматики и программного обеспечения с открытым кодом [2, 3].

Разработка эффективного программного обеспечения для робототехнических систем очень сложный процесс, требующий междисциплинарных знаний, низкоуровневых аппаратных драйверов для высокоуровневых программных абстракций, проходящих через алгоритмы обработки сложных сигналов. Платформы роботизированного промежуточного программного обеспечения, такие как dLife [4], MARIE [5], OpenRDK [6], OROCOS [7], OPRoS [8], RoboMind [9], Robot Operating

Системы (ROS) [10], Webots [11], Gazebo [12], V-REP [13], ANVEL [14], MRDS [15], Simbad [16] и другие обеспечили более доступный подход для разработки программного обеспечения робототехники.

ПРОЦЕДУРА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РОБОТА

Методология проектирования представляет собой процесс, описывающий формально и алгоритмически поведение элементов робототехнической системы при ее функционировании и включает следующие стадии (Рисунок 1):

- моделирование робототехнических систем;
- разработка алгоритмов управления робототехнической системы;
- синхронизация узлов и разработка архитектуры робототехнической системы;
- тестирование на программном и аппаратном уровнях [3].

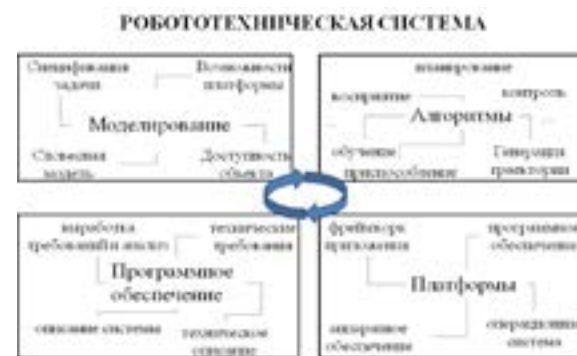


Рисунок 1 – Методология проектирования робототехнической системы

Роботизированная система представляет собой комбинацию компонентов аппаратного и программного обеспечения как два отдельных слоя, которые могут быть интегрированы для создания робототехнических систем. Стандарт ISO 8373:2012 обеспечивает словарь роботов и различных роботизированных устройств, которые функционируют в промышленных и непромышленных условиях [3]. Аппаратные компоненты, такие как датчики, роботизированные рычаги, панели навигации являются составляющими системы. Аппаратные компоненты контролируются и управляются контрольным слоем, который по существу представлен в виде набора драйверов (как системный код) для взаимодействия с аппаратным обеспечением (Рисунок 2). Для осуществления робототехнической системой более сложных функций, существует специализированное программное обеспечение, интегрирующее и координирующее аппаратные компоненты управления.

К примеру, робототизированная система в виде многоуровневой конструкции, состоит из прикладного и контрольного уровней (Рисунок 2). Прикладной уровень обеспечивает поддержку роботизированных операций, контрольный уровень позволяет получить доступ к навесному оборудованию. Каждый слой инкапсулирует определенную функциональность и зависит от уровня (слоев) вышестоящего или нижестоящего, при завершеном функционировании системы [4].



Рисунок 2 – Модель роботизированных программных систем

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОГРАММНЫХ ОБЕСПЕЧЕНИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Программное обеспечение моделирования робототехнических систем поддерживает такие аспекты, как масштабируемость, многократное использование, развертывание, отладка, простота аппаратных и программных компонентов. Они также предоставляют инструменты моделирования и симуляции для облегчения задач проектирования, проверки и тестирования. Таким образом, реализуется подходящая среда для создания более крупной, более сложной и более интегрированной архитектуры робототехники.

Из-за большого разнообразия характеристик, которые предлагают нынешние программные обеспечения, их сравнение не всегда прямолинейно. Не существует выдающегося решения по всем аспектам, равно как и не существует консенсуса в отношении организации и структуры этого типа технологий, а также о том, какие аспекты должны быть охвачены.

В таблице 1 приведен обзор новейших, широко используемых робототехнических и симуляционных программных систем.

Таблица 1 – Программные обеспечения для моделирования робототехнических систем

	Наименование	Операционная система	Язык программирования	Лицензия	Год
	dLife [4]	Mac OSX, Linux, Win	Java	GPL3	2007
	MARIE [5]	Linux	XML	LGPL2	2003
	OpenRDk [6]	Linux, Win	C++, Java, Python	GPL2	2009
	OROCOS[7]	Linux/RTAI/ Xenomay, OSX, Win, Win CE	C++, Python, язык сценариев Simulink Orocos	LGPL	2000
	OPRoS[8]	Win	C, C++	LGPL	2000
	RoboMind [9]	Linux, Mac, Win	Java	RoboMind Licence	2005
	Robot Operating System[10]	Linux, Mac, Win	C++, Python, Octave, LISP, Java, Lua	BSD	2008
	Webots[11]	Linux, Mac, Win.	C, C++, Java, Matlab, Python	Proprietary, with contributions from the community	2008
	Gazebo [12]	Linux	C, C++, Python, Java	Apache 2.0	2008
	V-REP [13]	Linux, Mac, Win	C, C++, Python, Java, Urbi, Matlab/Octave	Proprietary/ GNU GPL	2010
	ANVEL [14]	Linux, Win.	Python, Matlab, C++, C#, Java.	BSD	2006
	MRDS [15]	Win.	VPL, C#, Visual Basic, JScript, IronPython	Various	2006
	Simbad [16]	Linux, Mac, Win.	Java, Python	GPL2	2007

Программные системы сравниваются по следующим важным параметрам:
– операционная система – вид операционной системы поддерживаемая роботизированным программным обеспечением [17];

– язык программирования – используется для разработки модели робототехнической системы.

Чем больше число поддерживаемых языков, тем больше гибкости способствует развитию, что, в свою очередь, приводит к увеличению количества библиотек и проектов, которые могут быть повторно использованы. Используемый язык влияет на производительность, возможность работы в режиме реального времени, мобильность. Наиболее широко распространенным языком в инфраструктурах приложений для робототехники является C/C++, поскольку он обеспечивает хороший баланс между доступом к устройствам, датчикам и исполнительным устройствам на низком уровне. С другой стороны, многие алгоритмы в робототехнике имеют проблемы с высоким уровнем абстракции, поэтому рекомендуется, чтобы система поддерживала языки высокого уровня, такие как Java, Python или MATLAB [18];

– лицензия – характеризует вид программной системы, с открытым исходным кодом или коммерческая лицензия;

– год создания – это показатель квалификации проекта, который представляет собой сформированность, хороший дизайн и способность адаптироваться со временем.

dLife – это библиотека Java, которая поддерживает исследования в области искусственного интеллекта, искусственного интеллекта с биоиндустрией, искусственной жизни и робототехники. Библиотека включает в себя пакеты для нейронных сетей, генетические алгоритмы, обучение подкреплению, робототехнику и компьютерное зрение. dLife особенно хорошо подходит для работы в области эволюционной и развивающейся робототехники [4].

MARIE – это роботизированный инструмент для проектирования и разработки мобильных и автономных роботов. Он был разработан таким образом, что может интегрировать несколько гетерогенных программных элементов. Он основан на распределенной модели, что позволяет выполнять приложения в группе систем [5].

OpenRDK – это модульная программная среда с открытым исходным кодом, ориентированная на быстрое развитие распределенных роботизированных систем [6].

OROCOS – это проект бесплатного программного обеспечения (в основном набор переносимых библиотек C++), ориентированный на управление роботом, поддерживает несколько поставщиков, что означает,

что компоненты, созданные из разных поставщиков, могут участвовать в более сложной системе [7].

OPRoS – это платформа с открытым исходным кодом, основанная на компонентах для разработки роботизированного программного обеспечения и мониторинг роботов [8].

RoboMind – это простая образовательная среда программирования с собственным языком сценариев, которая позволяет новичкам изучать основы компьютерной науки, программируя имитированный робот [9].

Robot Operating System – является основой, предназначенной для написания программного обеспечения для роботов. Он состоит из инструментов, библиотек и конвенций, которые направлены на снижение сложности, в отношении процедуры написания сложных и надежных роботизированных поведений (роботизированного программного обеспечения) [10].

Webots – это коммерческая среда разработки, разработанная Cyberbotics, используемая для моделирования, программирования и моделирования мобильных роботов. Он обеспечивает многопользовательскую (гетерогенную) симуляцию в общей среде, которая позволяет физически взаимодействовать с роботизированными агентами [11].

Gazebo – трехмерным физическим симулятором для роботов на открытом воздухе, является третьей и самой последней частью проекта Player/Stage/Gazebo. Он обеспечивает реалистичное моделирование датчиков и поддерживает разные физические механизмы [12].

V-REP – Симулятор робота со встроенной средой разработки основан на распределенной архитектуре управления: каждый объект/модель может управляться индивидуально через встроенный скрипт, плагин, узел ROS или BlueZero, удаленный клиент API или пользовательский интерфейс решение. Это делает V-REP очень универсальным и идеально подходит для многопользовательских приложений. Контроллеры могут быть написаны на языках C / C++, Python, Java, Lua, Matlab или Octave [13].

ANVEL – является симулятором, разработанный и внедренный для использования в военных целях. Он может похвастаться высокой точностью воспроизведения, которая детально моделирует физику и обеспечивает высококачественную графическую визуализацию моделируемой среды [14].

MRDS – это среда, основанная на Windows для управления роботами и моделирования. Он основан на реализации параллельной библиотеки на основе .NET для управления асинхронными параллельными задачами [15].

Simbad – симулятор 3D-роботов на Java для научных и образовательных целей. Он в основном посвящен исследователям/программистам, которые хотят простую основу для изучения искусственного интеллекта, машинного обучения [16].

Проведенный анализ текущего состояния робототехнического программного обеспечения позволяет прийти к заключению, что наибольший интерес в качестве основы для построения робота представляет система ROS. По нижеперечисленным причинам: удобство разработки и использования, универсальность, модульность, гибкость, возможность легкого масштабирования, интеграция с другими системами робототехнического программного обеспечения, открытый программный код, большое количество готовых драйверов, алгоритмов, решений для стандартных задач робототехники, возможность независимо разрабатывать и добавлять в систему собственные модули, легкость отладки, большое активное сообщество пользователей. Также немаловажным является то, что разработка под ROS может вестись на разных языках программирования и в любой среде разработки, например, бесплатной Eclipse. Для ROS доступны мощные инструменты отладки, сбора информации в процессе работы системы и ее последующего анализа [10].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ROS ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ROS (Robot Operating System) – программная платформа, поддерживающая оборудование и возможности расширения, предоставляет стандартные системные операционные сервисы, такие как аппаратная абстракция, низкоуровневое управление устройством, реализация широко используемых функций и передача сообщений между процессами и управление пакетами (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Программная платформа – Robot Operating System

На рисунке 4 приведен пример реализации программы управления роботом – обнаружения препятствия и местности применением Robot Operating System [10].

Алгоритм обнаружения препятствия и местности разрабатывается на основе исходных данных:

- множество точек M_i описывающий карту в двумерном режиме;
- каждая точка M_i описывается координатами (x_i, y_i) ;
- параметр D_i определяющий доступность точки M_i ;

Постановка задачи обнаружения препятствия и местности:

- карта местности описывается множеством исходных данных (x_i, y_i, M_i) ;
- исходная (x_0, y_0) и конечная точка (x_k, y_k) движения.

В результате должны получить все координаты кривых соединяющие исходную и конечную точки движения. Навигационная часть состоит из двух этапов – локальный планировщик и глобальный планировщик.

Глобальный маршрут рассчитывается с помощью библиотеки ROS `global_plannerof navigation_stack`. Для нахождения кратчайшего пути между исходной и конечной точками используется алгоритм Дейкстры [19]:

```

dist[s] ← 0
for all v ∈ V-(s)
  do dist[v] ← ∞
S ← {s}
Q ← V
while Q ≠ ∅
  do u ← mindistance(Q, dist)
  S ← S ∪ {u}
  for all v ∈ neighbors{u}
    do if dist[v] > dist[u] + w(u,v)
       then d[v] ← d[u] + w(u,v)
    
```

Важно учесть, в случае если граф содержит отрицательный вес, то использование алгоритма Дейкстры невозможно.

Локальный планировщик рассчитывает местный маршрут необходимый для навигации по автономному вождению робототехнической системы. Глобальный маршрут рассчитывает кратчайший путь от исходной до конечной точки не учитывая препятствия. Важно отметить, что локальный планировщик так же учитывает особенности рулевого управления робототехнической системы. В системе ROS для определения локального маршрута используется библиотека `teb_local_planner`, требующая множество различной информации для конфигурации, так как они влияют на результат и эффективность расчета.

На рисунке 4 приведена схема определения расстояния до препятствий/объекта. В качестве основных узлов систем навигации могут выступать

следующие элементы системы: датчики расстояния, датчики инерционных измерений, электронный компас, видеосистемы, GPS, геомагнитные навигационные системы и т.д.

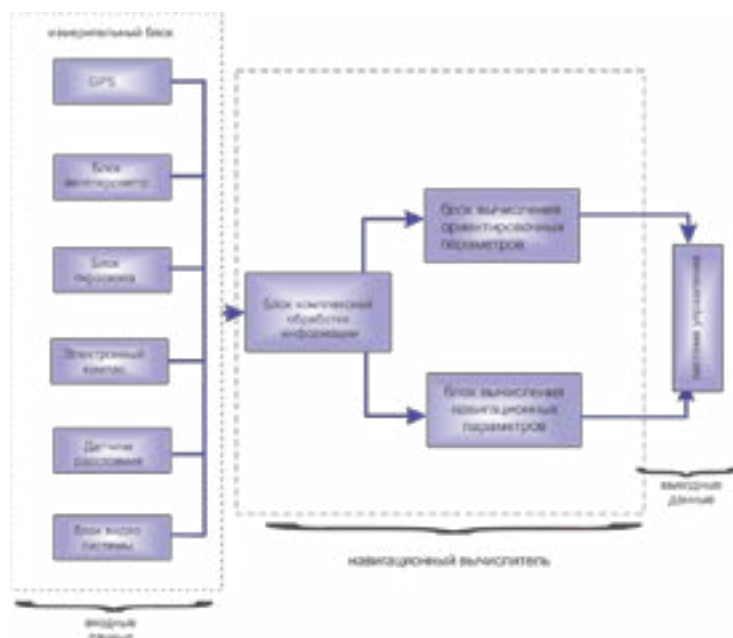


Рисунок 4 – Схема определения расстояния до препятствий/объекта

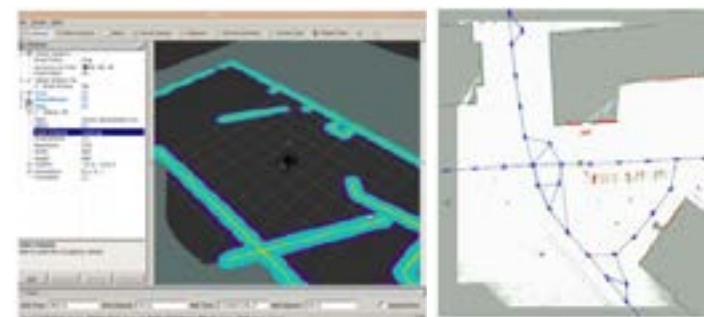
В качестве проектируемой робототехнической системы рассматривается прототип на базе шасси «Беларус 132» [20]. Прототип экспериментального мобильного робототехнического комплекса показанный на рисунке 5, помимо серийного шасси минитрактора включает следующие системы и агрегаты:

- видеосистема для обеспечения вождения;
- мехатронная система управления движением;
- бортовой компьютер;
- система телекоммуникации с выносным интерфейсом управления;
- специальное навесное оборудование.



Рисунок 5 – Прототип робототехнической системы

На рисунке 6 продемонстрированы этапы реализации программы управления робототехнической системой и результат обнаружения препятствия и местности в среде ROS.



а) б)

Рисунок 6 – а) Реализации программы управления робототехнической системой в среде ROS;

б) Результат обнаружения препятствия и местности

ВЫВОДЫ

В результате проведенного анализа существующих решений программного обеспечения для разработки архитектуры системы управления роботом, можно подвести следующие общие итоги:

- робототехнические программные системы работают в виде промежуточного слоя между операционной системой и программами управления роботом;
- эффективные робототехнические программные системы имеют модульную структуру;

– реальный практический интерес представляет программа ROS;
– практическое применение ROS при моделировании роботизированной системы подтверждает ее высокую функциональность и эффективность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Послание Президента Республики Казахстан – Лидера нации Нурсултана Назарбаева народу Казахстана «Стратегия «Казахстан–2050»: новый политический курс состоявшегося государства» – 2012. [Электронный ресурс]. – URL: <https://strategy2050.kz/ru/news/48918> (Дата обращения: 26.04.2018).

2 **Pablo Inigo Blasco, Fernando Diaz del Rio, M. Carmen Romero Ternero, Daniel Cagigas Muniz, Saturnino Vicente Diaz.** Robotics software frameworks for multi-agent robotic systems development // *Robotics and Autonomous Systems* – 2012. – Volume 60, Issue 6. – P. 803–821.

3 ISO/IEC 15459-3:2014. Information technology. Automatic identification and data capture techniques. Unique identification. - Part 3: Common rules [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.iso.org/standard/54781.html> (Дата обращения: 26.04.2018).

4 dLife is a Java library – 2010–2012. [Электронный ресурс]. – URL: <http://users.dickinson.edu/~braught/dlife/dLife/dLife.html> (Дата обращения: 25.04.2018).

5 **Jason Nyugen, Saurabh Joshi, Eric Jiang.** Introduction to MARIE, A Basic CPU Simulator // Copyright © 2016. – Second Edition.

6 **Robin Rasch, Aljoscha Pörtner, Martin Hoffmann, Matthias König,** A decoupled three-layered architecture for service robotics in intelligent environments // *Proceedings of the 1st Workshop on Embodied Interaction with Smart Environments*. – November, 2016. – Tokyo, Japan. – P.1–8.

7 **Herman Bruyninckx.** Open robot control software : the OROCOS project, in : *ICRA // IEEE*, 2001. – P. 2523–2528.

8 **Byoungyoul Song, et al.,** An introduction to robot component model for OPRoS (Open Platform for Robotic Services) // *Autonomous Robots*, 2008. – P. 592–603.

9 **M. Faisal, Rosihan Ari Yuana, Basori.** Comparative Study between Robomind and Scratch as Programming Assistance Tool in Improving Understanding of the Basic Programming Concepts // *International Conference on Teacher Training and Education 2017 (ICTTE 2017)*. – *Advances in Social Science, Education and Humanities Research (ASSEHR)*. – Volume 158.

10 **Zhi Yan, Luc Fabresse, Jannik Laval and Noury Bouraqadi.** Building a ROS-Based Testbed for Realistic Multi-Robot Simulation: Taking the Exploration as an Example // *Robotics*, 2017. – P. 6–21.

11 **Webots User Guide. R2018a revision 2** [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cyberbotics.com/doc/guide/index> (Дата обращения 25.04.2018).

12 **Nathan Koenig and Andrew Howard.** Design and use paradigms for gazebo, an open-source multi-robot simulator. // *In Intelligent Robots and Systems, 2004. (IROS 2004) // Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference*. – Volume 3. – P. 2149–2154.

13 **Coppelia Robotics GmbH, 2016, V-REP virtual robot experimentation platform** [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.v-rep.eu> (Дата обращения 25.04.2018).

14 **Phillip J. Durst, Christopher Goodin, Chris Cummins, Burhman Gates, Burney Mckinley, Taylor George, Mitchell M. Rohde, Matthew A. Toschlog, Justin Crawford.** A Real-Time, Interactive Simulation Environment for Unmanned Ground Vehicles : The Autonomous Navigation Virtual Environment Laboratory (ANVEL) // *2012 Fifth International Conference on Information and Computing Science*.

15 **Rajendra Patel, Marko Lehtola, Pavel Lemarinier.** Integration of an ABB industrial robot with a MRDS enabled mobile robot platform and experiments for track motion applications // *41st International Symposium on Robotics* [Электронный ресурс]. – 2014. – URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=6840099> (Дата обращения 25.04.2018).

16 **Simbad 3D Robot Simulator** [Электронный ресурс]. – URL: <http://simbad.sourceforge.net> (Дата обращения 25.04.2018).

17 **Michael R. Benjamin.** Software architecture and strategic plans for undersea cooperative cueing and intervention. – 2007.

18 **D. Vallejo, J. Albusac, J.A. Mateos, C. Glez-Morcillo, L. Jimenez.** A modern approach to multiagent development // *Journal of Systems and Software*. – 83 (3). – 2010. – P. 467–484.

19 **Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн.** Алгоритмы : построение и анализ. – *Introduction to Algorithms*. – 2-е изд. – М. : «Вильямс», 2006. – С. 1296.

20 Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Разработка и экспериментальное исследование алгоритмов адаптивного управления робототехническими мобильными комплексами» – Астана, 2015. – ГРНТИ : 55.30.29; 55.30.31; 55.30.05; № госрегистрации: 0115PK01426.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

А. Д. Адамова¹, Т. К. Жукабаева², Ху Вен-Цен³

Робототехникалық жүйелерді жасау және моделдеу

¹Компьютерлік жүйелер және кәсіптік білім беру факультеті,
С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,
Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

²Ақпараттық технологиялар факультеті,
Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

³Ақпараттық технологиялар және энергетика жоғары мектебі,
М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті,
Шымкент қ., 160000, Қазақстан Республикасы.
Материал 17.08.18 баспаға түсті.

A. D. Adamova¹, T. K. Zhukabayeva², Khu Ven-Tsen³

Development and modeling of robotic systems

¹Faculty of Computer Systems and
Vocational Training,

S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,
Astana, 010000, Republic of Kazakhstan;

²Faculty of Information Technologies,
L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, 010000, Republic of Kazakhstan;

³Faculty of Information Technology and Energy,
M. Auezov South-Kazakhstan State University,
Shymkent, 160000, Republic of Kazakhstan.
Material received on 17.08.18.

Робототехникалық жүйелерді жасау үлкен көлемді жұмыстарды орындау қажеттілігімен байланысты. Біңғайлы платформаның және бағдарламалық қамтамасыз етуінің таңдалуы жасау үрдісінің мазмұны мен тиімділігін анықтайды.

Қазіргі уақытта архитектурасы, функционалдығы және құрылымдық мінездемелері жағынан жақын робототехникалық жүйелер түрлі салаларда қолданыс табады, сол себептен барлық типті жобалар және аспаптық бағдарламалық құрылғылар үшін жалпы құрылымды жасау мәселесі туып отыр. Концептуалды, онымен қоса өндіріске енгізу тұрғысынан қарағанда роботтарға арналған қосымшалардың жалпы құрылымын анықтау бойынша

қарқынды шаралар қолданылуда. Бірақ қосымшалардың алуан түрлерінің болуына, онымен қоса түрлі зерттеу топтарының қатысуына байланысты жалпы құрылым әлі өз мәзіріне жеткен емес.

Ұсынылып отырған мақалада робототехникаға қажетті түрлі функциялар және қолжетімді бағдарламалық қамтамасыздандыруларға салыстырмалы талдау келтіріледі.

The development of robotic systems is associated with the need to perform a large amount of work. The choice of an appropriate platform and software completely determines the content and efficiency of the development process.

Nowadays, robotic systems that are close in architecture, functional and design characteristics find application in various areas, and therefore the task arises to develop a common structure for all types of projects and tools for their development. Intensive efforts are being made to determine the overall structure in robotic applications, both from conceptual and implementation point of view. However, due to the variety of existing applications, as well as the participating research groups, the overall structure is still far from being accepted.

The proposed article discusses the various functions that are necessary for robotics and provides a comparative analysis of available software.

А. Ш. Алимгазин¹, А. Н. Бергузинов², А. С. Шарыпов³

¹д.т.н., профессор, кафедра «Теплоэнергетика», Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

²доктор PhD, доцент, кафедра «Теплоэнергетика», Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

³магистрант, кафедра «Теплоэнергетика», Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан
e-mail: ¹alimgazin_altai@mail.ru; ³shatl51092@yandex.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОГЕНЕРАЦИИ

На сегодняшний день очень актуальны вопросы повышения энергетической эффективности, так как данное направление должно внести огромный вклад в устойчивое развитие страны путем снижения энергоёмкости экономики и поспособствовать в повышении конкурентоспособности произведенных товаров и услуг. Глобальный экономический кризис сделал данную тему чрезвычайно важной на мировом уровне. В реализации политики энергоэффективности заложены серьезные резервы для борьбы с последствиями кризиса и модернизации экономики.

Значительные возможности экономии минеральных топливно-энергетических ресурсов имеются при организации использования энергетических ресурсов.

Можно сделать вывод о том, что рациональное использование энергетических ресурсов на предприятии является важной составляющей снижения производственных издержек, и, следовательно, получения дополнительной прибыли, завоевания большей доли рынка и решения социальных проблем на основе реализации процесса подготовки производства в соответствии с оптимальными режимами ввода основных средств в эксплуатацию, использования наиболее рентабельных производственных технологий, а также разработки, освоения и внедрения новой техники и

технологий, в которых энергетические ресурсы используются более эффективно.

Ключевые слова: теплофикационная установка, когенерация, топливно-энергетические ресурсы.

ВВЕДЕНИЕ

Экономия топливно-энергетических ресурсов в настоящее время становится одним из важнейших направлений перевода экономики на путь интенсивного развития и рационального природопользования. Однако, значительные возможности экономии минеральных топливно-энергетических ресурсов имеются при использовании энергетических ресурсов. Так, на стадии обогащения и преобразования энергоресурсов теряется до 3 % энергии. В настоящее время почти вся электроэнергия в Республике производится тепловыми электростанциями. На ТЭС при выработке электроэнергии полезно используется лишь 30–40 % тепловой энергии, остальная часть рассеивается в окружающей среде с дымовыми газами, подогретой водой. Немаловажное значение в экономии минеральных топливно-энергетических ресурсов играет снижение удельного расхода топлива на производство электроэнергии.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Одной из проблем конденсационных станций является отсутствие когенерации, т.е. фактически станции работая на выработку электроэнергии, вынуждены снижать параметры отработавшей среды для возврата её в технологический цикл. Правильная организация использования энергии за счет выбора оптимальных технологических схем может в итоге дать большой КПД с возможностью дальнейшего применения низкопотенциальных источников энергии (отработавшего пара) для удовлетворения тепловых потребностей, что повышает эффективность обычных электростанций с 30–40 % до 80–90 % в системах когенерации. Следствием использования систем когенерации является четыре преимущества, тесно связанных друг с другом: экономия, утилизация тепла, надежность, экологичность [1].

Сравнение когенерации и отдельного производства электричества и тепла представлено схеме 1.

Схема 1 – Сравнение раздельного производства электроэнергии и тепла с когенерацией



В АО «Станция Экибастузская ГРЭС-2» ситуация усугублена тем что, при наличии инфраструктуры промплощадки на проектные 8 энергоблоков, введено в эксплуатацию только два.

Основными факторами, влияющими на экономичность работы паротурбинной установки, выявленными в процессе энергообследования [2] АО «Станция Экибастузская ГРЭС-2» (потери энергии в паротурбинной установке), являются:

- 1) ухудшение вакуума;
- 2) работа с отключенным 4-м отбором турбины и питание приводной турбины ПН и деаэратора от КСН;
- 3) работа с отключенной группой ПВД;
- 4) отклонение начальных параметров пара и пара промперегрева.

Недовыработка мощности и соответственно потери энергии из-за отклонения параметров острого пара и пара промежуточного перегрева не существенны. Температура острого пара и пара промперегрева выдерживается на номинальном значении. Давление острого пара не доходит до 240 кгс/см² и составляет в среднем 230 кгс/см² (по условиям надежной работы котельного агрегата). Однако, энтальпия острого пара в результате снижения давления изменяется незначительно, поэтому общий теплоперепад, определяющий мощность ЦВД и ЦСД, также изменяется незначительно. Расчеты снижения экономичности, связанные с отклонениями параметров пара, показали, что увеличение удельного расхода условного топлива из-за снижения температуры острого пара не превышает 0,02 г.у.т./кВт*ч, из-за снижения давления острого пара не превышает 0,1–0,2 г.у.т./кВт*ч, из-за отклонений параметров пара промперегрева не превышает 0,1–0,2 г.у.т./кВт*ч.

Перерасход топлива по причине ухудшения вакуума определяется недовыработкой мощности и по оценкам составляет от 1,8 до 3 г.у.т./кВт*ч. Снижение мощности для блока № 1 в среднем составляет 5,3 МВт, а для блока № 2 порядка 8,3 МВт.

На эффективность работы конденсатора, в том числе и на создание нормативного вакуума влияют множество факторов, в том числе температура и расход охлаждающей воды, условия теплообмена, плотность вакуумной системы и т.д. Анализ данных [2] показал, что конденсаторы блоков №1 и № 2 имеют повышенные температурные напоры, отглушенные трубки, повышенное гидравлическое сопротивление.

Основным источником питания приводной турбины является 4 отбор главной турбины. Аварийным источником питания приводной турбины – ПСБУ СН. Резервным источником питания приводной турбины в период пусковых операций является КСН 375 °С, который также питает теплофикационную установку (далее – ТФУ) станции.

Когенерация работы ТФУ с паротурбинным оборудованием станции имеет большой потенциал в части повышения энергоэффективности .

В состав ТФУ станции входят:

- 1) основной бойлер (ОБ) типа ПСВ-315-3-23;
- 2) пиковый бойлер (ПБ) типа ПСВ-200У;
- 3) охладитель конденсата (ОК) типа ОВ-150-3А;
- 4) сетевой насос типа СЭ-1250-140;
- 5) трубопроводы сетевой воды;
- 6) трубопроводы греющего пара;
- 7) трубопроводы конденсата греющего пара;
- 8) трубопроводы отвода неконденсирующихся газов, система опорожнения, дренажи, воздушники; контрольно-измерительных приборов, средств управления, защит, блокировок и сигнализации.

В ПОК имеется собственная теплофикационная установка, включающая в себя деаэратор подпитки котлов (ДСА-300), деаэратор подпитки теплосети (ДСА-200) и шесть подогревателей сетевой воды: два основных бойлера типа ПСВ-20-7-15, два основных бойлера типа ПСВ-315-3-23 и два пиковых бойлера типа ПСВ-315-14-23.

Собственные нужды котельной обеспечиваются от коллекторов пара 13 и 6 кгс/см², для чего имеются РОУ 40/13 (6 шт.), РОУ 40/6 (1 шт.), РОУ 13/1,2 (3 шт.), РОУ 13/6 (3 шт.) и РУ 6/1,2 (3 шт.) (таблица 1).

Таблица 1 – Сведения о РОУ, РУ и потребителях собственных нужд ПОК

Тип установки и ее параметры	Д, т/ч	Питаемые потребители	Количество, шт.
РУ 6/1,2 БКЗ, t =190	2,5	ДА300/75 и ДА 300/50	3
РОУ 40/13, 440/390 БКЗ	50	КСН 13/375	3
РОУ 40/13, 440/390 БКЗ	60	КСН 13/375, РОУ 13/6, 13/1,2	1
РОУ 40/13, 440/250 БКЗ	60	Мазутное хозяйство	1
РОУ 40/13, 440/250 БКЗ	20	Мазутное хозяйство РОУ13/6 №1	1
РОУ 40/6, 440/190 БКЗ	20	ПСВ-200-7x15, коллектор бата.	2
РОУ 13/6, 250/190 БКЗ	60	ПСВ-315-14-23, РУ 6/1,2	1
РОУ 13/6, 390/190 БКЗ	40	ПСВ-315-14-23,	1
РОУ 13/6, 390/190 БКЗ	60	калориферы котлов	1
РОУ 13/1,2, 390/130 БКЗ	60	ПСВ-315-3-23	1
РОУ 13/1,2, 390/130 БКЗ	40	ПСВ-315-3-23	1

ТФУ ПОК может работать как от собственных паровых котлов, так и от общестанционных коллекторов через РОУ. Паровые котлы ПОК в последние годы не задействованы. Водогрейные котлы также.

ТФУ для подогрева сетевой воды в подогревателях, используется пар из коллектора собственных нужд (КСН), с параметрами пара 13 кгс/см² и 375 °С. Перед использованием, параметры пара снижаются в РОУ 13/6 (температура 190 °С). Энтальпия пара понижается на 377 096,5 Дж/кг – безвозвратно теряемая энергия с каждым килограммом пара.

С учетом рассчитанного ранее средним расходом пара на подогрев теплосети (факт отопительного периода 2015–2017) равном 32,6 т/ч, что соответствует мощности 3 414,82 кВт – мощности которая теряется за счет дросселирования пара на РОУ.

Отпуск пара через РОУ не экономичен и допустим только в исключительных случаях [3].

Изменение проектной схемы ТФУ повлечет за собой значительные капиталовложения, связанные с необходимостью пересчета теплового баланса в виду несоответствия существующей инфраструктуры (как оборудования, так и потребителей тепловой энергии) проектным данным, что повлечет за собой необходимость изменения состава оборудования и режимов тепловой сети. Учитывая данное обстоятельство, а также принимая во внимания низкую энергоэффективность существующей ТФУ, наиболее выгодным видится оптимизация существующей схемы. Одним из

направлений должно стать снижение потерь от дросселиции пара на РОУ перед бойлерной группой так как устранение данных потерь обеспечит не только повышение эффективности работы ТФУ, но и станции в целом.

ВЫВОДЫ

Предлагается рассмотреть установку в качестве РОУ противодавленческой турбины, т.е. приведенная выше мощность 3,4 МВт из потерь перейдет в полезную работу. Таким образом, эффективность замены снижения параметров в РОУ будет заключаться в срабатывании адекватного потенциала в противодавленческой турбине, являющейся по существу вращающейся РОУ. Направив данную мощность на собственные электрические нужды станции существенно снизится основной показатель эффективности работы станции, а именно – расход условного топлива на отпущенную электроэнергию [4].

Нагрузка бойлерной составляет порядка 90 Гкал/час. Для питания бойлерной достаточно использование пара 3 кгс/см². Поэтому для срабатывания теплоперепада можно принять для установки паровую турбину с противодавлением. Принимая параметры пара в КСН Р=13 кгс/см² и Т=250 °С в паровой турбине будет сработан теплоперепад порядка 175 кДж/кг. При нагрузке в 90 Гкал/час мощность паровой турбины составит порядка 8,5 МВт. Поэтому можно принять к установке две паровые турбины по 4 МВт (Р-4-13/3). С учетом загрузки средняя выработка составит порядка 28000 тыс.кВт*ч. Затраты на установку двух паротурбинных установок составят порядка 850 млн.тенге с учетом разработки ПСД и выполнения СМР (например паровые турбины Turborag). Простой период окупаемости мероприятия составит 3,7 года. Экономический эффект составит порядка 230 млн.тенге в год.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Тенденция модернизации объектов малой энергетики на базе когенерации/ В. А. Маляренко, А. Л. Шубенко // – Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 4 (86)
- 2 Технический отчет по результатам энергоаудита АО «Станция Экибастузская ГРЭС-2» – Институт развития электроэнергетики и энергосбережения (Казахэнергоэкспертиза). – 2015.
- 3 Использование паровых турбин малой мощности для энергосбережения на энергоузлах предприятий/ А. Л. Шубенко, Н. Ю. Бабак, М. И. Роговой, А. В. Сенецкий// Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2008. – № 3.

4 Теплотехнические установки электростанций: учебник для вузов/
Д. П. Елизаров. – 2–е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоиздат, 1982. – 264 с.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

A. Sh. Alimgazin¹, A. N. Berguzinov², A. S. Sharypov³

Когенерация пайдаланумен жылуфикациялық қондырғылар жұмысының энергетикалық тиімділігін арттыру

^{1,3}Көлік-энергетика факультеті,

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

²Энергетика факультеті,

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

A. Sh. Alimgazin¹, A. N. Berguzinov², A. S. Sharypov³

Increase of energy efficiency of thermal facility unit operation with cogeneration application

^{1,3}Heat Power Engineering,

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, 010000, Republic of Kazakhstan;

²Power Engineering Faculty,

S. Toraihyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 17.08.18.

Бүгінгі күнде энергетикалық тиімділікті арттыру мәселелері өте өзекті болып келеді, өйткені бұл бағыт экономиканың энергия сыйымдылығын азайту арқылы елдің тұрақты дамуына зор үлес қосуы және өндірілетін тауарлар мен қызметтердің бәсекеге қабілеттілігін арттыруға жол беруі қажет. Жаһандық экономикалық дағдарыс бұл тақырыпты әлемдік деңгейде төтенше маңызды етті. Энергия тиімділігі саясатын іске асыруда экономика дағдарысы және жаңғырту салдарымен күрес үшін елеулі қор салынған.

Минералды отын-энергетикалық ресурстар экономиялаудың елеулі мүмкіндіктері энергетикалық ресурстарды ұйымдастыру барысында бар.

Қорыта айтқанда, энергетикалық ресурстарды рационалды пайдалану өндірістік шығындарды азайтудың, яғни қосымша

пайда алудың, нарықтың көбірек үлесін жаулап алу мен негізгі құрал-жабдықтарды пайдалануға енгізудің оңтайлы режимдеріне сәйкес өндірісті дайындау үрдісін іске асыру негізінде әлеуметтік мәселелерді шешудің, барынша рентабельдік өндірістік технологияларды қолданудың және де энергетикалық ресурстар тиімді пайдаланылатын жаңа техника мен технологияларды әзірлеу, игеру және енгізудің маңызды құрылымдық бөлігі болып табылады

To date, the issues of increasing energy efficiency are very urgent, since this direction should make a huge contribution to the sustainable development of the country by reducing the energy intensity of the economy and contribute to improving the competitiveness of goods and services produced. The global economic crisis made this topic extremely important at the world level. In the implementation of energy efficiency policies, serious reserves have been put in place to deal with the consequences of the crisis and the modernization of the economy.

Significant opportunities for saving mineral fuel and energy resources are available when organizing the use of energy resources.

It can be concluded that the rational use of energy resources in the enterprise is an important component of reducing production costs, and therefore, gaining additional profits, winning a larger market share and solving social problems through the implementation of the production preparation process in accordance with the optimal modes of input of fixed assets in operation, use of the most profitable production technologies, as well as the development and introduction of new technology and technologies, in which energy resources are used more efficiently.

Б. А. Альжанов

магистрант, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: aliazk@mail.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
ЧАСТОТЫ С ЦЕЛЬЮ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ
В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ ЭКСКАВАТОРОВ**

В статье отражена актуальность применения регулируемого электропривода в экскаваторах горных предприятий для повышения энергоэффективности и энергосбережения. В качестве регулирующего устройства широкое применение находят преобразователи частоты. В статье рассмотрены непосредственные преобразователи частоты, двухзвенные преобразователи частоты с промежуточным звеном переменного тока, двухзвенные преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока, приведены их достоинства и недостатки, а также области и условия применения. Проведен анализ преобразователей частоты, который показал, что наибольшими перспективами в целях энергосбережения обладают преобразователи частоты с автономным инвертором напряжения и автономным инвертором тока.

Ключевые слова: преобразователи частоты, энергосбережение, электропривод, экскаватор, карьер.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вопросы эффективного использования энергоресурсов в целом и электрической энергии в частности, а также повышения энергоэффективности электроприводов выходят на первый план в контексте развития современной мировой экономики. Энергосбережение (рационализация производства, распределения и использования энергии) стало в последние годы одним из актуальных направлений технической политики во всех развитых странах мира.

В промышленно развитых странах большая часть производимой электроэнергии (порядка 60 %) потребляется электроприводами различного назначения. Совершенствование производственных механизмов и

технологических процессов обуславливает развитие автоматизированного электропривода, который должен обеспечивать экономию электроэнергии за счет организации наиболее экономичной работы механизма в установившихся и переходных режимах и уменьшения потерь в самом электроприводе. Именно в области электропривода находятся основные резервы экономии и рационального использования электроэнергии.

Таким образом, задачи разработки, исследования характеристик и режимов работы и внедрения энергосберегающего электропривода для горного оборудования представляются актуальными.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Полупроводниковые преобразователи частоты для электропривода подразделяются на два основных класса, различающихся по способу связи двигателя с питающей сетью: непосредственные преобразователи частоты (НПЧ); двухзвенные преобразователи частоты (ДПЧ) с промежуточным звеном постоянного либо переменного тока.

В классе НПЧ наибольшее практическое применение получили преобразователи с естественной коммутацией. В них используются силовые полупроводниковые приборы с неполным управлением (тиристоры), коммутация которых производится за счет напряжения сети.

Непосредственный преобразователь частоты для управления многофазными двигателями переменного тока представляет собой комплекс быстродействующих реверсивных управляемых выпрямительно-инверторных преобразователей, каждый из которых питает одну фазу двигателя [1, 2, 3].

Формирование необходимой частоты и амплитуды переменного напряжения на зажимах двигателя обеспечивается непрерывным циклическим изменением углов управления комплектами преобразователей. Для построения НПЧ применяются различные варианты схем реверсивных управляемых выпрямителей: нулевые и мостовые, мало- и многопульсные, встречно-параллельные и перекрестные, с совместным и отдельным управлением и т.д.

Основными достоинствами НПЧ с естественной коммутацией являются:

- относительно высокий КПД, что достигается благодаря однократному преобразованию электрической энергии;
- возможность двустороннего обмена энергией между питающей сетью и двигателем, что обеспечивает как двигательные, так и тормозные режимы электропривода с рекуперацией энергии в сеть;
- возможность использования естественной коммутации полупроводниковых вентилях с неполным управлением, что позволяет

отказаться от устройств принудительной коммутации, снижающих экономичность, надежность, перегрузочную способность и ухудшающих массогабаритные показатели преобразователя частоты;

– возможность получения сколь угодно низких частот выходного напряжения преобразователя и обеспечения равномерного вращения двигателя на малых скоростях;

– практически неограниченная мощность НПЧ;

– возможность конструирования преобразователей по блочно-модульному принципу, обеспечивающему удобства эксплуатации и резервирования.

Основные недостатки НПЧ:

– ограничение максимальных значений выходной частоты на уровне порядка $1/3 \dots 2/3$ от частоты питающей сети;

– наличие субгармоник и постоянных составляющих выходного напряжения и тока при неблагоприятных соотношениях частот на входе и выходе преобразователя;

– низкий коэффициент мощности, несинусоидальность и модуляция входных токов преобразователя частоты как потребителя в системе электроснабжения;

– сложность (многоэлементность) силовых цепей и цепей управления, что является оправданным лишь при выполнении преобразователя на сравнительно большие мощности.

В связи с этим непосредственные преобразователи частоты получили применение в основном для регулируемых тихоходных синхронных и асинхронных электроприводов средней и большой мощности. Здесь используются НПЧ с естественной коммутацией, получившие название циклоконверторы. Помимо рассмотренных НПЧ, работающих в режиме источника напряжения, известны токовые НПЧ, работающие в режиме источника тока [1, 2, 3].

Параллельно с циклоконверторами разрабатывались НПЧ с принудительной коммутацией, реализация которых ориентирована на полностью управляемые ключи переменного тока. Однако реализации на практике принципиальных преимуществ НПЧ с принудительной коммутацией длительное время препятствовало отсутствие необходимой элементной базы. Благодаря развитию силовой полупроводниковой преобразовательной техники и средств управления область целесообразного применения таких НПЧ в настоящее время существенно расширяется. Это обусловлено появлением мощных быстродействующих полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов (ЮВТ, МОЗБЕТ) [4], запираемых тиристоров [5], высокоэффективных средств микропроцессорного

управления и разработкой алгоритмических путей улучшения качества электропотребления и питания двигателей от НПЧ с принудительной коммутацией на базе методов широтно-импульсной модуляции.

Двухзвенные преобразователи частоты с промежуточным звеном переменного тока.

Силовая схема преобразователей данного типа состоит из двух основных звеньев:

– преобразователя напряжения источника питания в переменное напряжение повышенной частоты;

– непосредственного преобразователя переменного напряжения повышенной частоты в переменное напряжение требуемой частоты и амплитуды.

Преобразователь данного типа по существу представляет собой НПЧ с естественной коммутацией, снабженный индивидуальным источником питающего напряжения повышенной частоты. В описанных в литературе [1, 2, 3] разработках промежуточное звено переменного тока выполняется в виде обращенного НПЧ с принудительной емкостной коммутацией, работающего в режиме параллельного инвертора тока. Введение такого промежуточного звена позволяет устранить один из основных недостатков сетевых НПЧ с естественной коммутацией – увеличить верхний предел регулирования выходной частоты за счет увеличения частоты источника питания. Однако, при этом ухудшаются массогабаритные и энергетические показатели преобразователя в целом.

Тем не менее, в ряде случаев специального применения двухзвенные ПЧ с промежуточным звеном переменного тока по комплексу предъявляемых требований оказываются конкурентоспособными с другими видами ПЧ. В качестве примера можно привести электроприводы механизмов некоторых автономных подвижных объектов с источником энергии в виде аккумуляторной батареи. Сходные принципы организации системы питания и частотного регулирования скорости двигателей переменного тока используются и в некоторых видах электрических передач транспортных механизмов с первичным источником энергии в виде теплового двигателя.

В целом ПЧ с промежуточным звеном переменного тока не нашли широкого применения в электроприводе вследствие относительной сложности силовой схемы и системы управления, а также других отмеченных выше факторов.

Двухзвенные преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока.

Основными звеньями данных преобразователей частоты являются

– выпрямитель с фильтром;

– инвертор.

Напряжение питающей сети сначала выпрямляется выпрямителем, а затем инвертируется, т.е. преобразуется в переменное напряжение (или ток) требуемой частоты с помощью инвертора. В системах частотного управления электродвигателями переменного тока применяются автономные инверторы (АИ). Они способны функционировать как при наличии, так и при отсутствии в цепи нагрузки источников, способных развивать ЭДС и генерировать активную энергию. В некоторых, например, каскадных системах регулирования скорости машин переменного тока используются ПЧ с зависимыми (ведомыми сетью) инверторами, которые способны функционировать только при наличии в цепи нагрузки источников активной энергии. Зависимые инверторы используются также в схемах двухкомплектных выпрямителей для обеспечения возможности двусторонней передачи энергии звеном постоянного тока [1, 2, 3].

Автономный инвертор представляет собой коммутатор, для функционирования которого необходимы полностью управляемые переключающие элементы (ключи). Наиболее подходящими для автономных инверторов являются полностью управляемые полупроводниковые приборы (силовые транзисторы, запираемые тиристоры). В случае использования обычных тиристоров, т.е. приборов с неполным управлением, схема инвертора дополняется устройствами принудительной, как правило, емкостной коммутации.

Структура входных цепей и режим переключений коммутатора могут быть организованы таким образом, что свойства АИ как электрического генератора оказываются подобными свойствам либо генератора напряжения, либо генератора тока. Инверторы первого типа получили название автономные инверторы напряжения (АИН); второго типа – автономные инверторы тока (АИТ).

Инверторы напряжения обеспечивают величину и форму выходного напряжения, не зависящие (или почти не зависящие) от параметров нагрузки. Величина и форма тока определяется параметрами нагрузки. В отличие от них инверторы тока формируют в цепи нагрузки ток, величина и форма которого не зависят от параметров нагрузки. Зависимыми от параметров нагрузки оказываются величина и форма выходного напряжения АИТ. Поэтому инверторы напряжения непосредственно совместимы только с нагрузкой активно-индуктивного характера, а инверторы тока — с нагрузкой активно-емкостного характера. В противном случае между инвертором и нагрузкой включаются буферные элементы индуктивного характера в первом случае и емкостного характера во втором.

Главными преимуществами двухзвенных ПЧ с промежуточным звеном постоянного тока являются [1]:

– возможность получения на выходе преобразователя широкого диапазона частот, не зависящего от частоты питающей сети и полностью покрывающего потребности электроприводов различного назначения, в том числе высокоскоростных, среднескоростных и тихоходных, прецизионных электроприводов с широким и сверхшироким диапазоном регулирования скорости и др.;

– возможность использования относительно простых силовых схем и систем управления ПЧ для электроприводов с невысокими требованиями в части диапазона регулирования, быстродействия и других показателей;

– возможность наращивания сложности силовой части и системы управления преобразователя соразмерно уровню повышения требований к электроприводу, не допуская чрезмерной избыточности системы;

– возможность реализации в сравнительно малоэлементной структуре преобразователя разнообразных алгоритмов управления, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к электроприводам различного назначения;

– легкость трансформации преобразователя для работы в установках с питанием электрооборудования от автономных источников либо локальной сети постоянного тока.

Основные недостатки ДПЧ с промежуточным звеном постоянного тока:

– двукратное преобразование энергии, что увеличивает потери энергии и ухудшает массогабаритные показатели преобразователя;

– наличие в звене постоянного тока силового фильтра как неотъемлемого элемента ДПЧ, содержащего батарею конденсаторов значительной емкости (в схемах ДПЧ с АИН) либо реактор со значительной индуктивностью (в системах ДПЧ с АИТ).

Элементы силового фильтра увеличивают массу и габариты преобразователя, причем электролитические конденсаторы фильтра не всегда удовлетворяют требованиям высокой надежности. Являясь реактивным накопителем энергии, силовой фильтр звена постоянного тока существенно влияет на динамику преобразователя частоты и ограничивает динамические возможности электропривода, особенно при амплитудно-импульсном (осуществляемом за счет выпрямителя) регулировании величины выходного напряжения ДПЧ. Это накладывает повышенные требования и усложняет структуру системы автоматического регулирования (САР) инверторных электроприводов, обеспечивающих нормированные процессы пуска, торможения и регулирования скорости при наличии силового фильтра в контуре регулирования. Отмеченный недостаток преодолевается лишь при переходе от амплитудно-импульсного к широтно-импульсному формированию и регулированию выходного напряжения ДПЧ, осуществляемому за счет автономного инвертора [1, 2, 3].

ВЫВОДЫ

Рассмотрены непосредственные преобразователи частоты. Несмотря на некоторые преимущества, НПЧ на данный момент получили применение в основном для регулируемых тихоходных синхронных и асинхронных электроприводов средней и большой мощности.

Двухзвенные преобразователи частоты с промежуточным звеном переменного тока. Такие ПЧ не нашли широкого применения в электроприводе экскаваторов вследствие относительной сложности силовой схемы и системы управления.

Рассмотрены этапы исторического развития наиболее широко применяемых преобразователей частоты в системах регулируемых электроприводов переменного тока – двухзвенных преобразователей частоты с промежуточным звеном постоянного тока.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Вейнгер, А. М.** Перспективы регулируемых электроприводов переменного тока большой мощности. – Rockwell Automation. – 6 с.

2 **Лазарев, Г. Б.** Высоковольтные преобразователи для частотно-регулируемого электропривода. Построение различных систем. – Новости электротехники. – № 2. – 2005. – 7 с.

3 **Шрейнер, Р. Т.** Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург : Изд-во УРО РАН, 2000. – 654 с.

4 **Кудрявцев, А. В., Ладьгин, А. Н.** Транзисторные преобразователи зарубежных фирм для частотно-регулируемого электропривода // Тезисы докладов II Международной (XIII Всероссийской) научно-технической конференции (23–25 сентября 1998 г.). – Ульяновск : УлГТУ, 1998. – С. 85–87.

5 **Евзеров, И. Х., Горобец, А. С., Мошкович, Б. И. и др.** Комплектные тиристорные электроприводы : справочник / Под ред. канд. техн. наук Перельмутера В. М. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

Б. А. Альжанов

Экскаваторлардың электр жетектерінде энергияны үнемдеу мақсатында жиілікті түрлендіргіштерді қолдану

Энергетика факультеті,
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.
Материал 17.08.18 баспаға түсті.

B. A. Alzhanov

Application of frequency converters for the purpose of energy saving in electric drives of excavators

Faculty of Energy Engineering,
S. Toraighyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.
Material received on 17.08.18.

Мақалада энергия тиімділігін арттыру және энергияны үнемдеу үшін тау-кен кәсіпорындарының экскаваторларында реттелетін электржетекті қолданудың өзектілігі көрсетілген. Реттеуші құрылғы ретінде жиілік түрлендіргіштері кеңінен қолданылады. Мақалада айнымалы тоқтың аралық байланыстары, аралық тұрақты ток байланысымен екі жақты жиіліктер түрлендіргіштері, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері, сондай-ақ қолданылу салалары мен шарттары бар тікелей жиілікті түрлендіргіштер, екі қосылымдық жиілік түрлендіргіштері қарастырылады. Жиілікті түрлендіргіштерді талдау жүргізілді, бұл энергияны үнемдеудің ең үлкен перспективалары автономды кернеу түрлендіргіші мен автономды түрлендіргішпен жиілікті түрлендіргіштер болып табылатынын көрсетті.

The article reflects the relevance of the application of a regulated electric drive in excavators of mining enterprises for increasing energy efficiency and energy saving. As a regulating device, frequency converters are widely used. The article deals with direct frequency converters, two-link frequency converters with an intermediate link of alternating current, two-link frequency converters with an intermediate DC link, their advantages and disadvantages, as well as the application areas. Conducted analysis of frequency converters, which showed that the greatest prospects for energy saving are frequency converters with an autonomous voltage inverter and an autonomous current inverter.

А. С. Ибраев¹, Н. К. Смайлов²

¹магистр, ст. преподаватель, Кафедра «Космической техники и технологии», НАО «Алматинский Университет энергетики и связи», г. Алматы, 050013, Республика Казахстан;

²PhD, преподаватель, Институт информационных и телекоммуникационных технологий, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, 050057, Республика Казахстан
e-mail: ¹ibraev_aidos@mail.ru; ²nur_aly.kz@mail.ru

**РАЗРАБОТКА ПМО ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ
ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Данная статья предлагает читателям подробную информацию о математической модели бесплатформенной инерциальной навигационной системы. Метод заключается в составлении уравнений и алгоритма определения местоположения объекта в нужной системе отсчета с использованием методов интегрирования и матриц переходов. Также предлагается схема интегрирования инерциальных данных.

В первой части даётся описание основных систем отсчета, применяемых при расчетах задачи инерциальной навигации. Во второй части показана математическая формулировка поставленной задачи. Третья же часть посвящена составлению алгоритма определения углов ориентации и координат движущегося объекта с использованием инерциальных датчиков.

Основным исследовательским вкладом авторов данной статьи является проведение экспериментов и обработка соответствующих им данных при изучении интегрирования инерциальных навигационных систем. В статье приведены результаты описываемых экспериментов с несколькими существенными выводами по рассматриваемому направлению теории инерциальных навигационных систем.

Ключевые слова: ПМО, инерциальная навигационная система, алгоритм определения углов, ориентация, координаты, инерциальный датчик, система отсчета.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день, спутниковые навигационные системы (СНС) нашли широкое применение в различных отраслях науки и техники, таких

как геодезия, картография, кораблестроения, авиационная и ракетная техника и пр. Но СНС имеют один существенный недостаток: наличие различного рода природных и искусственных помех приводит к ухудшению или исчезновению сигнала. Альтернативой решения данной проблемы является комбинирование данных СНС с данными инерциальных датчиков. В статьях [1] и [2] автора Ибраева А. С. описан один из таких методов комбинирования с использованием слабосвязанного алгоритма Калмановской фильтрации, позволяющего компенсировать недостатки каждой из систем, сохраняя при этом преимущества.

Инерциальные навигационные системы, состоящие из трехосного акселерометра и гироскопа, появились задолго до изобретения СНС. Преимуществом такой системы является полная автономность, непрерывность сигнала, высокая кратковременная точность, а также возможность определения углов ориентации. Главным недостатком инерциальной системы принято считать накопление ошибок с течением времени вследствие инструментальных отклонений, которое приводит к сильному ухудшению точности конечного результата. Характеристика таких ошибок, и методы их устранения предлагается в статье автора Ибраева А. С. [2].

В данной статье предлагается математический комплекс, который определяет ориентацию, местоположение и скорость объекта с использованием измеренных линейных ускорений и угловых скоростей. Исследуемая задача известна, ей посвящены многие публикации. Однако в этих публикациях, как правило, не описываются важные для приложений и реализаций математические модели и детали алгоритмов интеграции, а приводятся лишь конечные результаты функционирования интегрированных систем. При этом, практически отсутствуют источники, в которых была бы описана четкая алгоритмическая схема, пригодная для написания программного обеспечения. Во многом это связано с тем, что данное программное обеспечение является либо коммерческой тайной, либо интеллектуальной собственностью разработчика программного обеспечения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**1 Системы координат****Система отсчета связанная с транспортным средством «б» (body)**

Будем считать, что данная система совпадает с системой отсчёта инерциального модуля, расположенного на автомобиле. Так как, практике начало этой системы находится не в центре ИНС, а в середине оси задних колес, нужно проводить некоторые преобразования. Ось X (крен) направлен вперед, Y (тангаж) – на право, Z (рыскание) – вниз.

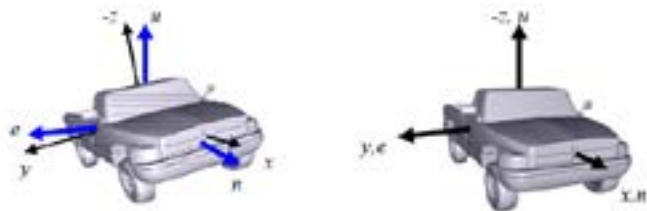


Рисунок 1 – Навигационная (n) и связанная с телом (b) системы отсчета

Навигационная система отсчета (n)

Данная система определяется в локальной касательной плоскости LTP – «Local Tangent Plane», начало координат находится в местоположении автомобиля, плоскость ху (ne) совпадает с касательной плоскостью эллипсоида земли.

Обычно используют два варианта ориентации осей такой системы:

NED: Север, Восток, Вниз (по направлению силы гравитации)

ENU: Восток, Север, Вверх

В данной статье мы использовали вариант NED.

Инерциальная система отсчета «i» ECI (Earth Centered Inertial)

Это – система, в которой используются законы Ньютона. Она не следует вращению Земли, и поэтому не вращается относительно звездного неба. Начало координат находится в центре земли, оси направлены следующим образом:

Ось X: к «точке весеннего равноденствия»;

Ось Y: к северному полюсу;

Ось Z: заканчивает правую тройку.

Внимание: ИНС производит измерения в этой системе отсчета!

Система отсчета связанная с землей «e» (ECEF-Earth Centered Earth Fixed) вращается вместе с Землей, начало отсчета находится в центре масс Земли. Направление осей: X – на меридиан Гринвича (долгота = 0); Y – на северный полюс; Z – заканчивает правую тройку.

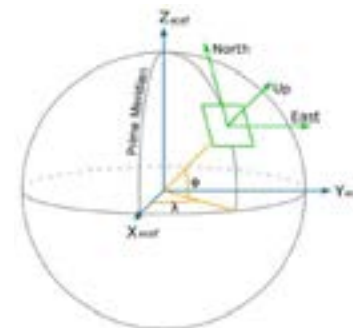


Рисунок 2 – ECEF и NED

**Преобразования между системами координат
Трансформация между системой связанной с телом (b) и касательной плоскости (n):**

Матрица преобразования от системы n к системе b определяется по следующей формуле:

$$R_n^b = R_x(\phi)R_y(\theta)R_z(\psi) \tag{1}$$

где, $\rho = [\phi, \theta, \psi]^T$ – углы Эйлера (крен (x), тангаж (y) и рыскание (z)) (в радианах), формула расчета которых приведены в следующих разделах.

R_b^n «матрица направляющих косинусов» – матрица перехода от системы отсчета b на систему n. Т.е.:

$$R_b^n = (R_n^b)^{-1} = R_z(-\psi)R_y(-\theta)R_x(-\phi) = (R_n^b)^T \tag{2}$$

$$R_b^n = \begin{pmatrix} c\psi & -s\psi & 0 \\ s\psi & c\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c\theta & 0 & s\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -s\theta & 0 & c\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c\phi & -s\phi \\ 0 & s\phi & c\phi \end{pmatrix} \tag{3}$$

$$R_n^b = \begin{pmatrix} c\theta c\psi & s\theta c\psi & -c\phi s\psi & c\phi s\theta c\psi + s\phi s\psi \\ c\theta s\psi & s\theta s\psi & c\phi c\psi & c\phi s\theta s\psi - s\phi c\psi \\ -s\theta & s\phi c\theta & & c\phi c\theta \end{pmatrix} \tag{4}$$

Где s и c мы обозначили синус и косинус.

Углы Эйлера рассчитываются по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \psi &= \arctg 2(c_{21}, c_{11}) \\ \theta &= -tg^{-1}\left(\frac{c_{31}}{\sqrt{1-c_{31}^2}}\right) = -\sin^{-1}(c_{31}) \\ \phi &= \arctg 2(c_{32}, c_{33}). \end{aligned} \quad (5)$$

где c_{ij} ($1 \leq i, j \leq 3$) – элементы $(I_j) R_n^b$.

Трансформация ECEF (e), навигационных (n) и инерциальных (i) систем отсчета

Матрица преобразования между системой e и n (или DCM):

$$R_e^n = R_y(-\varphi - \pi/2)R_z(\lambda) = \begin{pmatrix} -s\varphi c\lambda & -s\varphi s\lambda & c\varphi \\ -s\lambda & c\lambda & 0 \\ -c\varphi c\lambda & -c\varphi s\lambda & -s\varphi \end{pmatrix} \quad (6)$$

и

$$R_n^e = (R_e^n)^T \quad (7)$$

где φ – геодезическая широта в радианах по системе WGS-84.

λ – геодезическая долгота в радианах по системе WGS-84.

Вектор скорости вращения системы e относительно системы i определяется скоростью вращения Земли:

$$\omega_{ie}^e = [0, 0, \omega_e]^T \quad (8)$$

где ω_e – значение скорости вращения земли по WGS-84.

$\omega_e = 7.2921151467 \times 10^{-5}$ рад/с ≈ 15.04106 градус/час.

И ее проекция в системе n:

$$\omega_{ie}^n = R_e^n \omega_{ie}^e = [\omega_e \cos \varphi, 0, -\omega_e \sin \varphi]^T \quad (9)$$

где ω_{en}^n – скорость транспортного средства, характеризующая скорость вращения системы n относительно системы e, которая выражается по скорости изменения долготы и широты по следующей формуле:

$$\omega_{en}^n = \begin{bmatrix} \dot{\lambda} \cos \varphi \\ -\dot{\varphi} \\ -\dot{\lambda} \sin \varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_E / (r_T + h) \\ -v_N / (r_M + h) \\ -v_E \operatorname{tg} \varphi / (r_T + h) \end{bmatrix} \quad (10)$$

Скорость по долготе:

$$\dot{\lambda} = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{v_E}{(r_T + h) \cos \varphi} \quad (11)$$

Скорость по широте:

$$\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{v_N}{r_M + h} \quad (12)$$

Составляющая скорости по высоте:

$$\dot{h} = \frac{dh}{dt} = v_U = -v_D \quad (13)$$

где v_N, v_E, v_U – скорости соответственно по направлениям севера, востока и вверх;

h – высота относительно эллипсоида;

r_M, r_T – меридианные (север-юг) и трансверсальные (восток-запад) радиусы кривизны.

$$r_T = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}, \quad (14)$$

$$r_M = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}}, \quad (15)$$

$$e^2 = (a^2 - b^2) / a^2 \quad (16)$$

$$\begin{aligned} a &= 6378137.0 \text{ m} \\ b &= 6356752.3142 \text{ m} \end{aligned}$$

где a и e – соответственно большая полуось и эксцентриситет эллипсоида b – малая полуось.

ω_m^n рассчитывается в следующем виде:

$$\omega_m^n = \omega_{ie}^n + \omega_{en}^n = \begin{pmatrix} \omega_N \\ \omega_E \\ \omega_D \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_e \cos \varphi + v_E / (r_T + h) \\ v_N / (r_M + h) \\ -\omega_e \sin \varphi - v_E \operatorname{tg} \varphi / (r_T + h) \end{bmatrix} \quad (17)$$

Если точность гироскопа невысокая, можно считать что ω_m^n примерно равняется ω_{en}^n , так как ω_{ie}^n ничтожно мала по сравнению с ω_{en}^n .

**Математическая модель инерциальной навигации
Оценка угловой ориентации транспортного средства**

Гироскопы измеряют угловую скорость ω_{ib}^b между системами b и i в системе отсчета b , и состоит из суммы ω_{nb}^b и вращения n локальной плоскости n относительно инерциального пространства i - ω_{in}^b . Где последнее составляющая равна сумме скорости вращения локальной плоскости относительно Земли ω_{en}^b и скорости вращения Земли относительно инерциального пространства ω_{ie}^b :

$$\omega_{ib}^b = \omega_{ie}^b + \omega_{en}^b + \omega_{nb}^b \quad (18)$$

$$\omega_{nb}^b = \omega_{ib}^b - (\omega_{ie}^b + \omega_{en}^b) = \omega_{ib}^b - \mathfrak{R}_n^b (\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n) \quad (19)$$

Если точность гироскопа достаточно низкая, для пренебрежения скоростью Земли, то можно считать, что ω_{in}^n равна ω_{en}^n

Для расчета углов Эйлера, нужно рассчитать соотношение между $\omega_{nb}^b = [p \ q \ r]^T$ и $[\dot{\phi} \ \dot{\theta} \ \dot{\psi}]^T$.

$$\omega_{nb}^b = \begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{\phi} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \mathfrak{R}(\phi, x) \begin{pmatrix} 0 \\ \dot{\theta} \\ 0 \end{pmatrix} + \mathfrak{R}(\phi, x) \mathfrak{R}(\theta, y) \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\psi} \end{pmatrix} = C_{pqr / \dot{\phi}\dot{\theta}\dot{\psi}} \begin{pmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{pmatrix} \quad (20)$$

где p, q, r – угловые скорости по осям ИНС после вычитания ω_{en}^b и ω_{ie}^b :

$$\dot{\rho} = \begin{pmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{pmatrix} = C_{\dot{\phi}\dot{\theta}\dot{\psi} / pqr} \begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix} = \frac{1}{\cos \theta} \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \phi \sin \theta & \cos \phi \sin \theta \\ 0 & \cos \phi \cos \theta & -\sin \phi \cos \theta \\ 0 & \sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix} \quad (21)$$

Проинтегрировав данное уравнение, можно найти ориентацию ρ в следующем виде:

$$\rho = \int_0^t C_{\dot{\phi}\dot{\theta}\dot{\psi} / pqr} (\omega_{ib}^b - \mathfrak{R}_n^b (\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n)) dt \quad (22)$$

Оценка линейного местоположения (позиции) транспортного средства
Скорость в локальной плоскости n определяется по следующей формуле:

$$v^n = \begin{pmatrix} v_N \\ v_E \\ v_D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_M + h & 0 & 0 \\ 0 & (r_T + h) \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\lambda} \\ \dot{h} \end{pmatrix} \quad (23)$$

То есть, производная по времени геодезических координат:

$$\dot{r}^n = \begin{pmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\lambda} \\ \dot{h} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/(r_M + h) & 0 & 0 \\ 0 & 1/(r_T + h) \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_N \\ v_E \\ v_D \end{pmatrix} = Dv^n \quad (24)$$

где D – матрица перехода от локальной системы координат n к географической системе координат LLA.

Динамическое уравнение скорости

Производное относительной скорости земли в инерциальной системе координат определяется по формуле:

$$\frac{d}{dt} v_e^i = f^i - g^i - \omega_{ie}^i v_e^i \quad (25)$$

где ω_{ie}^i – Скорость вращения Земли.

А,

$$v_e^n = \mathfrak{R}_i^n v_e^i \quad (26)$$

Если применить теорему Кориолиса:

$$\dot{v}_e^n = \mathfrak{R}_i^n (\omega_{ni}^i v_e^i + \dot{v}_e^i) \quad (27)$$

$$= \mathfrak{R}_i^n (\omega_{ni}^i v_e^i + f^i - g^i - \omega_{ie}^i v_e^i) \quad (28)$$

$$= f^n - g^n + (\omega_{ni}^n - \omega_{ie}^n) v_e^n \quad (29)$$

$$= f^n - g^n + (\omega_{ne}^n - 2\omega_{ie}^n) v_e^n \quad (30)$$

Значит, динамическое уравнение скорости будет выражено:

$$\dot{v}_e^n = a_{en}^n = \mathfrak{R}_b^n f_{ib}^b - (2\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n) \times v_e^n - g^n \quad (31)$$

Центробежное ускорение = $\omega_{ie}^n \times \omega_{ie}^n \times R$ (малое число, которое можно не учитывать). R – Радиус Земли.

Гравитационное ускорение равно G и направлено к центру Земли.

Так как, гравитация = сила тяжести + центробежная сила:

$$g^n = [0 \quad 0 \quad g_D]^T = G - \omega_{ie}^n \times \omega_{ie}^n \times R \quad (32)$$

где g_D – компонент силы тяжести направленный вниз D (down – вниз) в локальных координатах.

Чтобы найти ускорения транспортного средства, нам нужно вычесть гравитационные компоненты от измеренных ускорений:

$$\begin{pmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \end{pmatrix} = \mathfrak{R}_n^b [0 \quad 0 \quad g_D]^T = \begin{pmatrix} -g_D \sin \theta \\ g_D \sin \theta \cos \phi \\ g_D \cos \theta \sin \phi \end{pmatrix} \quad (33)$$

где, $[g_x \quad g_y \quad g_z]^T$ – компоненты гравитационного ускорения заданная в связанной с автомобилем системе отсчета.

Составление алгоритма инерциальной системы навигации

Бесплатформенные инерциальные блоки обычно работают в дискретном режиме, и обычно выдают приращения углов и скоростей, т.е. $\Delta \tilde{\theta}_{ib}^b$ и $\Delta \tilde{v}_{ib}^b$.

1 Расчёт углов ориентации:

Интегрирование угловых скоростей согласно уравнению (19), будет иметь вид:

$$\rho_{k+1} = \rho_k + C_{\phi \dot{\theta} \psi / pqr} (\omega_{ib,k}^b - \mathfrak{R}_n^b (\omega_{ie,k}^n + \omega_{en,k}^n)) \Delta t \quad (34)$$

2 Расчет скоростей и положений в пространстве

Зависимость приращения скорости в навигационной системе отсчета n от ускорения измеренного акселерометром в связанной с телом системе отсчета b можно сформулировать в следующем виде:

$$\Delta v_f^n = \mathfrak{R}_b^n \Delta v_f^b \quad (35)$$

Если сделать корректировку к приращению скорости, учитывая ускорение Кориолиса и действие силы тяжести:

$$\Delta v^n = \Delta v_f^n - (2\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n) \times v^n \Delta t - g^n \Delta t \quad (36)$$

Интегрирование скорости можно сделать в следующем виде:

$$v_{k+1}^n = v_k^n + \Delta v_{k+1}^n \quad (37)$$

Или:

$$v_{en,k+1}^n = v_{en,k}^n + a_{en,k}^n \Delta t \quad (38)$$

Координаты объекта можно рассчитать, с помощью интегрирования методом Рунге-Кутты второго порядка:

$$r_{k+1}^{LLa} = r_k^{LLa} + \begin{pmatrix} 1/(r_M + h) & 0 & 0 \\ 0 & 1/(r_T + h) \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \frac{(v_k^n + v_{k+1}^n)}{2} \Delta t \quad (39)$$

Решение уравнения, описанных в данной статье можно представить в виде следующей функциональной схемы.

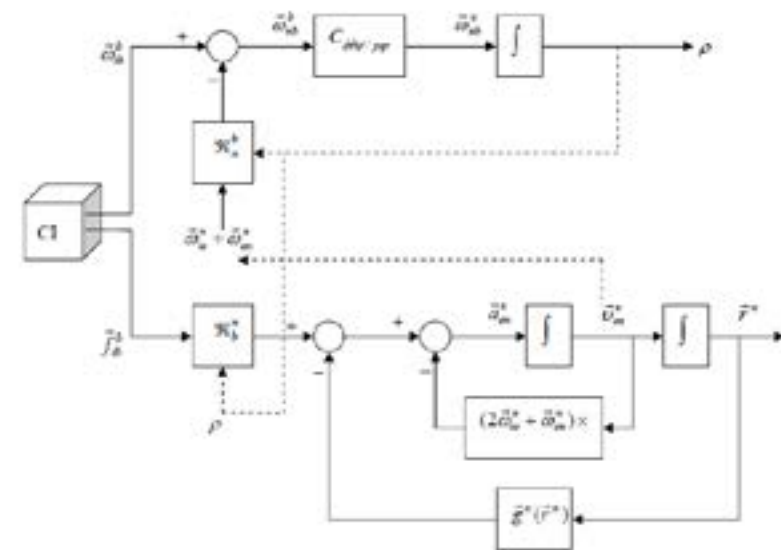


Рисунок 3 – Схема ИНС

Уравнения инерциальной навигации могут быть объединены следующим образом:

$$\begin{aligned} \dot{r}^n &= v^n \quad \text{немесе} \quad \dot{r}^{LLa} = Dv^n \\ \dot{v}^n &= a_m^n = \mathfrak{R}_b^n f_{ib}^b - (2\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n) \times v_m^n - g^n \\ \dot{\theta}_s^n &= \mathfrak{R}_s^n (S(\omega_{ib}^b)) \end{aligned} \quad (40)$$

Проведем итоги механизации уравнений:

- 1 Расчёт ориентации с учётом вращения земли.
- 2 Преобразование измеренных ускорений в систему отсчета n , учитывая ориентацию.

3 Компенсация влияния силы тяжести, центробежной силы и ускорения Кориолиса (можно не учитывать) от измеренной силы.

4 Учитывая начальные условия, два раза интегрировать ускорения для нахождения скорости и местоположения.

Анализ Результатов

В качестве инерциальной модули мы использовали IMU440, расположенный на борту интеллектуального автомобиля Cybus, с откалиброванным нулевым смещением и чувствительностью. Для улучшения точности, авторы использовали одометрию – набор встроенных датчиков на колесах автомобиля.

Результаты определения координат на основе инерциального блока, состоящей из трехосного акселерометра, гироскопа и одометра, заранее откалиброванных с помощью GPS данных (рассчитаны постоянные составляющие системных ошибок датчиков в результате сравнения с DGPS) получили следующий вид:

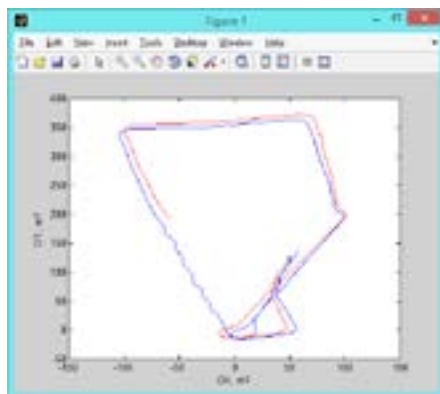


Рисунок 4 – Координаты, рассчитанные с помощью ИНС (красная линия) и GPS (синяя линия) (шкала – в метрах)

Отклонение рассчитанного местоположения автомобиля с помощью ИНС от реальных координат составило 5 метров за 2 часа езды, что является достаточно точным для замены данных GPS в тоннелях.

Среднее квадратическое отклонение координат в простом режиме GPS и интегрированной INS/GPS от реальных координат равны соответственно $8,8775 \text{ м}^2$ и $3,3755 \text{ м}^2$.

ВЫВОДЫ

Использование ИНС позволяет контролировать движение транспорта при временной блокировке сигналов GPS. А так же, мы использовали данные одометра для коррекции ИНС данных, что позволило улучшить точность позиционирования в десятки раз. Результаты тестирования показывают, что данная математическая модель определения координат с помощью ИНС и одометра позволяет с достаточной точностью определять местонахождение машины в течение долгого времени. ИНС обеспечивает наиболее высокую точность на гладких дорогах.

Представленные методы являются достаточно точными, устойчивыми в вычислительном смысле, и простыми для практической реализации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Ибраев, А. С.** көліктерге арналған интеграцияланған ИНЖ/СНЖ/Одометрия позициялау жүйесінің математикалық-бағдарламалық кешенін жасау // Вестник КазАТК. – № 4. (103). – 2017. С. 203–211.

2 **Ibrayev, A., Ibrayeva, A., Akhmedov, D.** Development of methods and algorithms for improving accuracy of integrated INS/GPS systems for vehicles, Indian Journal of Science and Technology. – Vol 9(44). – DOI : 10.17485/ijst/2016/v9i44/104705. – November 2016, ISSN (Print) : 0974-6846 ISSN (Online) : 0974-5645.

3 **Milanés, V., Naranjo, J. E., González, C., Alonso, J., García, R., and de Pedro, T.** «Sistema de Posicionamiento para Vehículos Autónomos» in Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial. – Vol. 5. – N. 4. – P. 36–41, Oct. 2008.

4 **Milanés, V., Naranjo, J. E., González, C., Alonso, J., T. de Pedro,** «Autonomous Vehicle Based in Cooperative GPS and Inertial Systems» // in Robotica. – Vol. 26. – N.5. – P. 627–633. – Oct. 2008.

5 **Britting, K. R.** Inertial Navigation Systems Analysis. – New York : Wiley, 1999.

6 **Farrel, J. A., Barth, M., Galijan, R., and Sinko, J.** «GPS/INS Based Lateral and Longitudinal Control Demonstration : Final Report», California Partners for Advanced Transit and Highways (PATH). – Paper UCB-ITS-PRR-98-28. – 1998.

7 **Farrel, J. A. and Barth, M.** The Global Positioning System & Inertial Navigation, – New York : McGraw-Hill, 1999.

8 **Farrel, J. A., Tan, H. and Yang, Y.** «Carrier phase GPS-aided INS-based vehicle lateral control», J. Dyn. Syst., Meas., and Control. 2003. – 125(3). – P. 339–353.

9 Hong, S., Hyung Lee, M., Hong Kwon, S. and Hwan Chun, H. «A car test for the estimation of GPS/INS alignment errors» // IEEE Trans. Intell. Trans. Syst. – 2004. – 5(3). – P. 208–218.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

A. S. Ibrayev¹, N. K. Smailov²

Көліктерге арналған инерциалдық навигация бағдарламалық-математикалық кешенін жасау

¹Алматы энергетика және байланыс университеті,
Алматы қ., 050057, Қазақстан Республикасы;

²Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық
ғылыми – зерттеу технологиялық университеті,
Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы.

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

A. S. Ibrayev¹, N. K. Smailov²

Development of software-mathematical support of inertial navigation for vehicles

¹Almaty University of Energy and Communications,
Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan;

²School of Information and Telecommunication Technologies,
K. I. Satbayev Kazakh National Research Technical University,
Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan.

Material received on 17.08.18.

Бұл мақалада оқырмандарға платформасыз инерциялық навигация жүйенің математикалық моделі туралы жан-жақты мәлімет ұсынылады. Бұл әдіс интеграциялау әдістері мен көшу матрицаларын қолданып, объектінің қажетті санақ жүйесіне қатысты орналасуын анықтауға арналған теңдеулер мен алгоритмдерді құрастыруға негізделген. Бұған қоса, инерциялық деректерді біріктіру схемасы ұсынылады.

Бірінші бөлімде инерциялық навигация есептерін шешуде қолданылатын негізгі санақ жүйелеріне сипаттама беріледі. Екінші бөлімде қойылған есептің математикалық тұжырымдамасы көрсетілген. Үшінші бөлім инерциялық сенсорларды қолданып қозғалыстағы объектінің ориентация бұрыштары мен координаттарын анықтауға арналған алгоритм құрастыруға арналған.

Осы мақаланың авторларының негізгі үлесі инерциялық навигациялық жүйелерді интеграциялау зерттеу барысында эксперименттер жүргізу және оларға сәйкес деректерді өңдеу болып табылады. Мақалада инерциялық навигация жүйелері теориясының қарастырып отырған бағыты бойынша сипатталған эксперименттердің нәтижелері бірнеше маңызды қорытындылары келтірілген.

This article offers readers detailed information about mathematical model of a non-platform inertial navigation system. The method consists in compiling equations and algorithms for determining the location of an object in the desired reference frame using integration methods and transition matrices. We also propose a scheme for integrating inertial data.

In the first part authors provide a description of the basic reference systems used in the calculation of the inertial navigation problem. The second part shows the mathematical formulation of the objective. The third part is devoted to the compilation of an algorithm for determining the orientation angles and coordinates of a moving object using inertial sensors.

The main research contribution of the authors of this article is providing experiments and corresponding data processing while studying the integration of inertial navigation system. The results of the described experiments with several significant conclusions on the considered direction of the theory of inertial navigation systems are presented in the article.

**А. Б. Кайдар¹, М. Б. Кайдар², Б. К. Шапкенов³,
А. П. Кислов⁴, В. П. Марковский⁵**

¹м.т. и т., гл. менеджер АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз», г. Шу, 081000, Республика Казахстан;

²менеджер, АО «КазТрансГаз», г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

³к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁴к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁵к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: ¹argin_intel@mail.ru; ²m.kaidar@amangeldygas.kz;

³argin_intel@mail.ru; ⁴kislovpsu@mail.ru; ⁵wadim54@mail.ru

СНИЖЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ АКТИВНЫМИ ФИЛЬТРАМИ В СЕТЯХ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

В статье рассмотрены статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности и активные фильтрокомпенсирующие устройства. Активные фильтры гармоник компенсируют практически все искажения. В них непрерывно измеряются отклонения формы тока и напряжения от требуемой, и с помощью силовых электронных преобразователей генерируется сигнал, находящийся в противофазе наблюдаемым искажениям. Поступая в питающую сеть, он компенсирует искажения и на вводе активного фильтра гармоник восстанавливается практически идеальная синусоида. Рекомендованы конструкторские решения, способствующие наиболее экономически эффективной оптимизации системы, повышению к.п.д. нагрузок и их совместимости. Соблюдение рекомендаций может продлить стандартный эксплуатационный срок службы оборудования.

Ключевые слова: статические тиристорные компенсаторы, активные фильтрокомпенсирующие устройства, фильтрация токов высших гармоник, спектр, полоса фильтрации, динамическую компенсацию искажений напряжения.

ВВЕДЕНИЕ

С развитием силовой электроники в начале 70-х годов широкое распространение получили статические тиристорные компенсаторы (СТК) реактивной мощности, использующие тиристорные вентили – не полностью управляемые (не запираемые) силовые ключи. Во многих странах, в том числе и в Казахстане, СТК установлены на большом количестве промышленных предприятий и объектов энергосистем. Мощность выпускаемых в настоящее время СТК достигает 200 Мвар, а номинальное напряжение применяемых в них тиристорных вентилях достигает 35 кВ.

Технически более совершенны активные фильтрокомпенсирующие устройства (АФКУ), выполненные на базе полностью управляемых силовых ключей. Они были предложены в 70-х годах [1, с. 153; 2, с. 156], однако, до 2009 года в мире выпускались только низковольтные АФКУ мощностью до нескольких Мвар. Создание высоковольтных АФКУ мощностью до 200 Мвар стало возможным с появлением модульных многоуровневых преобразователей [3, с. 461].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Статические тиристорные компенсаторы.

Данный тип компенсирующие устройства (КУ) позволяет компенсировать изменяющийся по величине реактивный ток нагрузки, ток обратной последовательности и частично высшие гармоники тока (в зависимости от применяемого состава фильтров). Его схема представлена на рисунке 1. Управляемая часть СТК состоит из трех тиристорно-реакторных групп (ТРГ), соединенных в треугольник. В состав ТРГ входят реактор L и тиристорные вентили TV . Неуправляемая часть СТК состоит из группы пассивных фильтров, обозначенных «ФКУ». На номинальной частоте их сопротивление имеет емкостной характер, поэтому ФКУ является источником реактивной мощности.

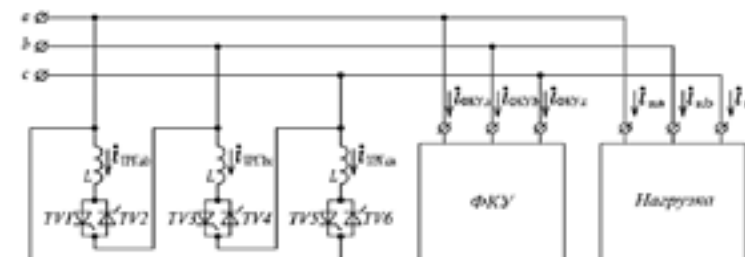


Рисунок 1 – Структурная схема статического тиристорного компенсатора СТК

Принцип работы СТК основан на том, что компенсация реактивной мощности и тока обратной последовательности нагрузки может быть обеспечена использованием только реактивных элементов [4]. Величина уставок $I_{ТРГ.аb}$, $I_{ТРГ.ьс}$, $I_{ТРГ.са}$ фазных токов ТРГ определяется величинами прямой и обратной последовательности суммарных токов нагрузки и ФКУ [3, с. 461].

Спектр токов $i_{ТРГ.аb}(t)$, $i_{ТРГ.ьс}(t)$, $i_{ТРГ.са}(t)$ содержит высшие гармоники. Для их компенсации параллельно с управляемой частью СТК подключают пассивные фильтры. Наиболее часто используемые типы фильтров – узкополосный, широкополосный и фильтр «С» типа. Узкополосный фильтр состоит из последовательно соединенных конденсатора C , реактора L и резистора R (рисунок 2, а). Добротность узкополосных фильтров обычно высокая (порядка 100), а потери не велики. Использование нескольких узкополосных фильтров приводит к появлению полюсов между нулями в частотной характеристике группы фильтров. Избежать этого можно, если обеспечить малое сопротивление фильтра в широком спектре частот. Для этого используют широкополосные фильтры, схема которых приведена на рисунке 2, б. Параллельное включение демпфирующего резистора R и реактора L обеспечивает широкую полосу пропускания, но и большие потери по сравнению с узкополосным. Для уменьшения потерь иногда применяют фильтр «С» типа (рисунок 2, в). Параллельно резистору R подключают цепь, состоящую из конденсатора $C1$ и реактора L , настроенную на резонанс на номинальной частоте сети. Величина тока первой гармоники определяется емкостью $C2$. Однако в силу техникоэкономических ограничений данные фильтры обычно применяются для фильтрации гармоник не высокого порядка (2 или 3).

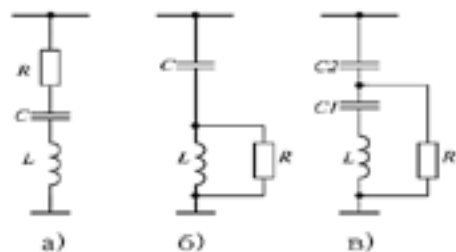


Рисунок 2 – Схемы пассивных фильтров

Состав фильтров, применяемых в СТК, определяется спектрами токов не только тиристорно-реакторных групп ТРГ, но и нагрузки. При работе ТРГ в симметричном режиме, спектр его линейных токов содержит только нечетные

гармоники не кратные 3, а при работе в несимметричном – все нечетные. Спектр токов нагрузки может быть как дискретным, так и непрерывным. Дискретный спектр характерен для электролизных выпрямителей, тяговых подстанций и других нагрузок, использующих тиристорные преобразователи. Непрерывный спектр характерен для дуговых сталеплавильных печей (ДСП), поэтому в применяемых на металлургических предприятиях СТК цепи ФКУ могут быть настроены на гармоники близкие к максимумам плотности спектра тока нагрузки, например на 2-ю, 3-ю, 4-ю и 5-ю.

Активные фильтрокомпенсирующие устройства.

Изначально под термином активный фильтр понимался преобразователь напряжения (ПН), подключенный параллельно нагрузке и выполнявший функцию фильтрации токов высших гармоник. В настоящее время под этим термином понимают группу устройств, различающихся по способу подключения, типу используемого преобразователя, функциям и алгоритмам регулирования, но имеющих общее свойство – использование полностью управляемых полупроводниковых силовых ключей.

На рисунке 3 приведены схемы подключения АФ, где i_H – ток нагрузки, i_K – ток поперечно подключаемого КУ, i_n – ток, потребляемый из сети, u_H – напряжение в точке присоединения нагрузки, u_n – напряжение в точке подключения к сети. Вентильная часть ПН условно изображена транзистором и диодом, серийный трансформатор обозначен ТУ, а фазный реактор и конденсатор цепи постоянного тока обозначены $L_{ПН}$ и C_{dc} соответственно.

На рисунке 3,а показана схема поперечного подключения АФ, в которой реализуется принцип компенсации токов. Из всех представленных схем подключения АФ только в данной схеме принципиально возможно использование преобразователя тока вместо ПН. Однако, в настоящий момент промышленно выпускаемые АФКУ выполнены на базе ПН [4, с. 327–335].

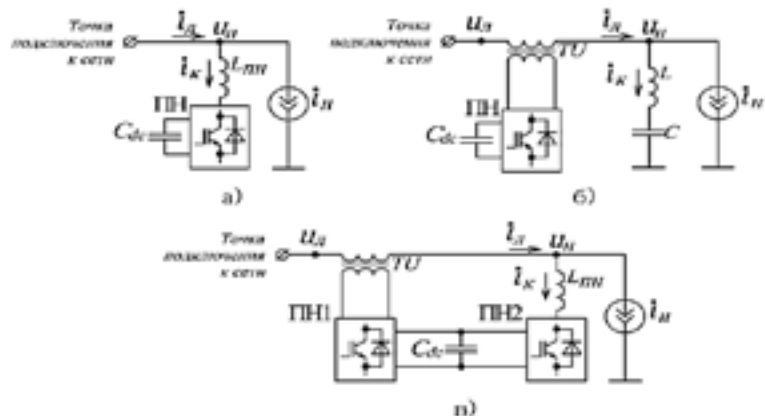


Рисунок 3 – Эквивалентные однофазные схемы подключения амплитудного фильтра АФ

На рисунке 3,б показана схема продольного подключения АФКУ, позволяющая реализовать два типа компенсации: динамическую компенсацию искажений напряжения и фильтрацию токов высших гармоник нагрузки. Первый тип описан в [4, с. 327–335], второй подразумевает создание с помощью ПН и трансформатора TV фильтра «пробки» для высших гармоник тока, которые шунтируются пассивным фильтром, состоящим из реактора L и конденсатора C. В данной схеме обеспечивается широкополосная фильтрация высших гармоник вне зависимости от частотной характеристики пассивного фильтра. Недостатком такого подхода является искажение формы напряжения $u_{н2}$, что противоречит цели – нормализации показателей качества электроэнергии (ПКЭ) в точке присоединения нагрузки. На рисунке 3,в представлена схема подключения продольно-поперечного АФ, которая позволяет осуществлять одновременно компенсацию токов и искажений напряжения. Данный тип АФ имеет ту же структуру, что и объединенный регулятор перетоков мощности (ОРМП), но отличается алгоритмами управления. Применение продольно и поперечно подключаемых типов АФ подробно разобрано в [1, с. 153; 2, с. 156].

Здесь рассматривается только поперечно подключаемый АФ на базе преобразователя напряжения, выполняющий функции фильтрации токов высших гармоник, токов обратной последовательности и реактивного тока нагрузки, поэтому будем называть его активным фильтрокомпенсирующим устройством.

Для создания АФКУ могут быть использованы следующие топологии трехфазных ПН [5, С. 371–379]:

- с плавающим конденсатором (flying capacitor),
- с привязкой средней точки через диоды (neutral point clamped),
- модульные многоуровневые (modular multilevel).

На рисунке 4 представлена широко распространенная схема двухуровневого ПН с плавающим конденсатором.

В состав данного типа ПН входит один емкостной накопитель энергии, условно разделенный точкой N на два одинаковых конденсатора C, и шесть силовых вентилей, состоящих из транзисторов TV и обратных диодов DV. ПН позволяет формировать мгновенные значения фазных напряжений двух уровней: $+\frac{U_{dc}}{2}$ и $-\frac{U_{dc}}{2}$.

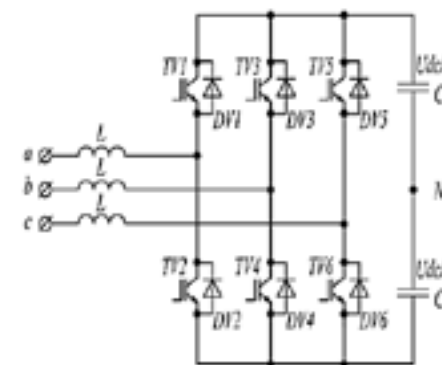


Рисунок 4 – Схема двухуровневого ПН с плавающим конденсатором

ПН, работающий в режиме источника тока, управляемого напряжением, использует алгоритмы широтно-импульсной модуляции. Параметры ШИМ (способ модуляции, частота несущей) определяют точность слежения за уставками токов. С ростом частоты переключений снижаются высшие гармоники тока, эмиссируемые ПН, улучшается точность слежения за уставками тока, но при этом и растут коммутационные потери в силовых ключах. Связанный с этим нагрев полупроводниковых структур в мощных ПН становится фактором, ограничивающим рост частоты переключений. В частности, по этой причине долгое время выпускались маломощные низковольтные АФКУ. Кроме того, применение высоковольтных вентилей связано с необходимостью последовательного соединения силовых модулей, использованием специальных транзисторов и создания сложных транзисторных драйверов.

Большее количество уровней позволяет получать требуемую точность слежения за уставками токов при меньшем количестве переключений транзисторов. На рисунке 5 представлена широко распространенная схема трехуровневого преобразователя с привязкой средней точки через диоды. В состав данного типа ПН входят два емкостных накопителя энергии h , шесть диодов ($DV5, DV6, DV11, DV12, DV17$ и $DV18$) и двенадцать силовых вентилей, состоящих из транзисторов ($TV1, TV2, TV3, TV4, TV7, TV8, TV9, TV10, TV13, TV14, TV15$ и $TV16$) и обратных диодов ($DV1, DV2, DV3, DV4, DV7, DV8, DV9, DV10, DV13, DV14, DV15$ и $DV16$). ПН позволяет формировать мгновенные значения фазных напряжений трех уровней:

$$1) +\frac{U_{dc}}{2}, \quad 2) 0 \quad \text{и} \quad 3) -\frac{U_{dc}}{2}.$$

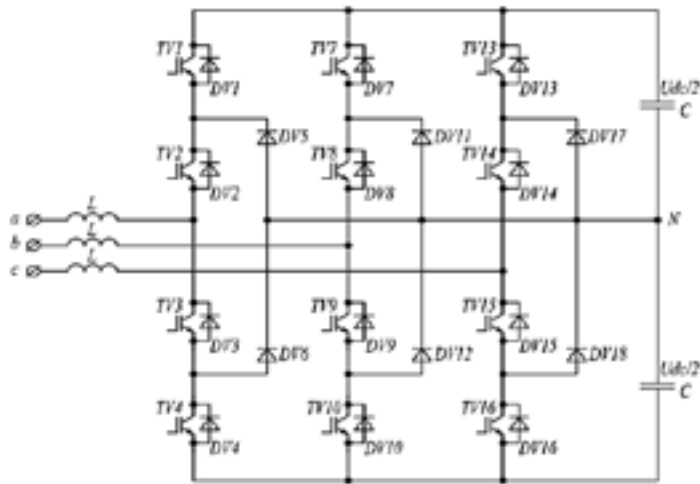


Рисунок 5 – Схема трехуровневого ПН с привязкой средней точки через диоды

Оба рассмотренных типа ПН могут быть выполнены и на большее количество уровней, однако, данные схемы не нашли широкого практического применения из-за сложности балансирования энергии между конденсаторами [5]. В схеме модульных многоуровневых преобразователей отсутствуют вышперечисленные недостатки. Фазы ММП состоят из реактора L и последовательно соединенных силовых модулей. Показанный на рисунке 6,в силовой модуль состоит из конденсатора C и четырех силовых ключей, включенных по мостовой схеме. Силовые ключи состоят из транзисторов TV и обратных диодов DV . Каждый модуль способен формировать на своих

зажимах три уровня напряжения: $+U_c, 0$ и $-U_c$. Количество уровней фазного напряжения равно $2N+1$, где N – количество модулей в фазе.

На рисунке 6,а представлен ПН с соединением фаз в звезду (схема «Y»). Данное решение позволяет компенсировать реактивный ток нагрузки и высшие гармоники тока [6, с. 3–32; 7, с. 366–374], но имеет ограниченную возможность симметрирования тока нагрузки [6, с. 3–32; 7, с. 366–374].

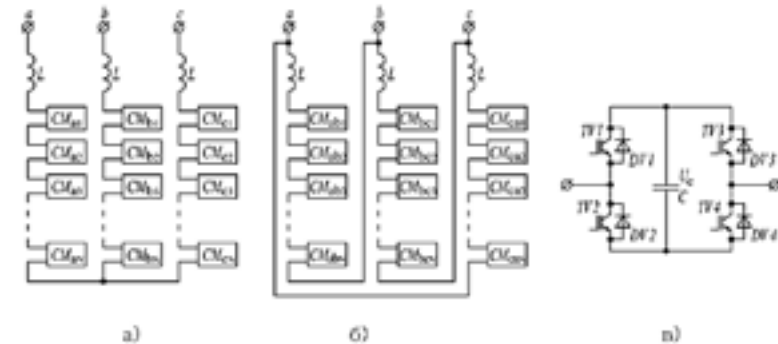


Рисунок 6 – Модульные многоуровневые ПН на полных мостах

Наличие тока обратной последовательности приводит к перераспределению энергии, запасенной в емкостных накопителях фаз ПН. Управляемое перераспределение энергии между фазами возможно за счет регулирования фазы и амплитуды напряжения нулевой последовательности (смещения нейтрали) [6, с. 3–32; 7, с. 366–374], при этом линейные токи и напряжения ПН не изменяются. ПН с соединением фаз в треугольник (схема «D») представлен на рисунке 6,б. Данный вид преобразователя, как и СТК, позволяет компенсировать реактивный ток и ток обратной последовательности, а также осуществлять фильтрацию токов высших гармоник. Активные фильтры с данным типом ПН выпускаются компаниями Siemens (под названием «SVC plus») с 2009 года [7, с. 366–374].

На рисунке 7, а изображена схема «2Y» модульного многоуровневого преобразователя, предложенная в 2003 году инженерами компании Siemens для передач постоянного тока (HVDC) [6, с. 3–32; 7, с. 366–374]. Каждая фаза данного ПН делится на два плеча, состоящих из реактора и силовых модулей, соединенных последовательно.

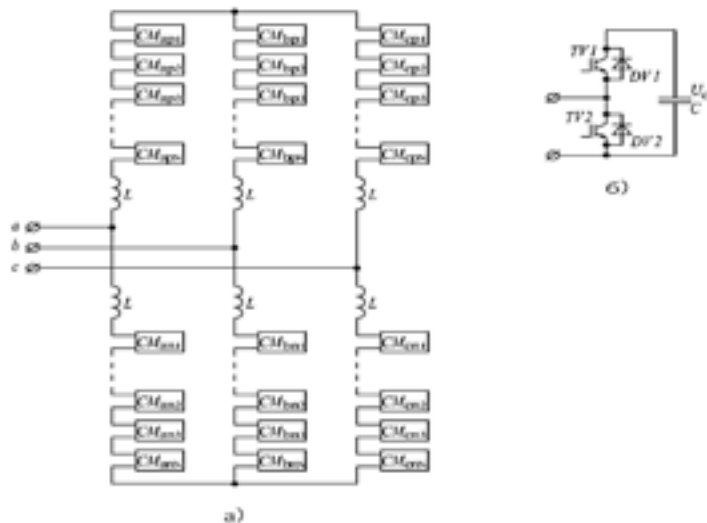


Рисунок 7 – Модульный многоуровневый ПН на полумостах

Схема модуля представлена на рисунке 7, б, где конденсатор C и силовые ключи соединены по схеме полумост. Силовые ключи состоят из транзисторов TV и обратных диодов DV . Каждый модуль способен формировать на своих зажимах два уровня напряжения: U_c (модуль включен) и 0 (модуль выключен). Количество уровней фазного напряжения равно $N \cdot U_c$, где N – количество модулей в плече. В каждый момент времени алгоритмы работы данного вида ПН обеспечивают постоянное и одинаковое для всех фаз количество включенных модулей. При этом напряжение между полюсами, образованными нейтралью звезд, практически постоянно и равно сумме напряжений включенных в фазе модулей. Данная схема ПН применима для создания АФКУ, подключаемых поперечно, продольно и продольно-поперечно.

Основные принципы работы различных модульных многоуровневых преобразователей изложены во многих работах, в частности в [1, с. 153; 2, с. 176] рассматриваются вопросы моделирования и управления ППТ на базе ММП со схемой соединения фаз в две звезды, а работы [3–5, 7] посвящены КУ на базе ММП.

ВЫВОДЫ

Фильтрокомпенсирующие устройства выполняют компенсацию реактивной мощности потребителей на основной частоте (50 Гц).

Фильтрокомпенсирующее устройство имеет статическую величину реактивной мощности, которую оно передает в главную электрическую сеть и настроено на подавление одной из гармоник.

ФКУ уменьшает реактивное сопротивление LC-цепочек до значений, близких к нулю, и обеспечивает шунтирование главной электрической сети (на частоте заданной гармоники).

LC либо RLC цепочки фильтрокомпенсирующих установок необходимо настраивать на резонанс с определенной гармоникой, порядок которой определяется заказчиком либо по результатам замеров.

Узкополосные, одноконтурные фильтры применяют и настраивают на резко выраженные гармоники, как правило низких порядков 3, 5, 7.

На высоких частотах применяют режекторные фильтры меньшей добротности, при этом используют шунтирующее реактор сопротивление R .

Применение режекторных фильтров позволяет нивелировать присутствие гармоник в широком спектре высоких частот.

Комплексное применение узкополосных и широкополосных фильтровых цепочек в составе силовых фильтров гармоник (ФКУ) позволяет в полной мере очистить электрическую сеть от гармонических искажений, вызванных потребителем.

Экономически целесообразно применение фильтрокомпенсирующих установок на напряжение 6(10) кВ в связи с тем, что высоковольтные потребители создают меньший спектр гармонических искажений (где сильно выражены 3, 5, 7 гармоники и в меньшей степени гармоники более высших порядков) по сравнению с низковольтными потребителями. Поэтому технически и экономически выгоднее реализовать схему фильтрокомпенсирующего устройства, настроенную на одну (две, три) гармоники, чем на широкий спектр гармоник потребителей 0,4 кВ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Повышение эффективности электроснабжения городских электрических сетей: Монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, А. П. Кислов, В. П. Марковский, М. Б. Кайдар. – Павлодар : Кереку, 2016. – 153 с. ISBN978-601-238-674-5.

2 Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б. Оптимизация параметров и режимов работы городских электрических сетей: монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, М. Б. Кайдар. – Алматы : Эверо, 2016. – 176 с. – ISBN 978-601-310-762-2

3 Шапкенов, Б., Калиев, Б., Кайдар, А. Теория и практика энергетических преобразователей. Монография для студентов, магистрантов,

аспирантов и ИТР, руководящего и обслуживающего персонала электростанций. Изд. Lap Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Germany, 2014. – 461 с.

4 **Темирханов, Е. У., Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Сейтказин, С. Б., Акаев, А. М.** Причины возникновения высших гармонических в сетях переменного тока и результат их воздействия. Материалы Международной научно-практической конференции «УШ Торайгыровские чтения», посвященной 25-летию независимости Республики Казахстан. – Павлодар: 2016 г. , т. 6, с. 327-335. – ISBN 978-601-238-669-1(Т.6).

5 **Кайдар, М. Б., Кайдар, А. Б., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П., Ахметов, Т. М., Дербесов, А. А., Асыллов, Н. Е., Шонаев, Д. Т.** Концепция энергоэффективной топологии преобразователя частоты газоперекачивающих насосов. / Материалы международной научной конференции молодых ученых, магистрантов, студентов и школьников «ХУШ Сагпаевские чтения». – Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2017, Ч.1, С. 371-379. ISBN 978-601-238-706-3 Ч. 1. – 2017. – 401 с.

6 Экспертное заключение от 21.06.2017 года № 07/17 по результатам экспертизы промышленной безопасности по рабочему проекту «2-я очередь главной понизительной подстанции № 2» на Аксуском заводе ферросплавов, филиала АО «ТНК «Казхром» РК на соответствие требованиям нормативной документации по промышленной безопасности, действующей в Республике Казахстан (ОВОС). ГП «Гипропром». 2017, с. 32.

7 **Шапкенов, Б. К., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Темирханов, Е. У., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Тюлюгенова, Л. Б.** Сетевые токовые гармоники и их негативное влияние. Материалы Международной научно-практической конференции «VIII Торайгыровские чтения», посвященной 25-летию независимости Республики Казахстан. – Павлодар : 2016 г. , т. 6, с. 366-374. – ISBN 978-601-238-669-1 (Т.6).

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

А. Б. Кайдар¹, М. Б. Кайдар², Б. К. Шапкенов³, А. П. Кислов⁴, В. П. Марковский⁵

Түрлендіргіштермен желілерде жоғары жиілікті құрайтын белсенді сүзгілермен төмендету

¹«Тараз химиялық паркі АЭА»БҚ»АҚ;
Шу қ., 081000, Қазақстан Республикасы;

²«ҚазТрансГаз» АҚ;

Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

^{3,4,5}С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

А. В. Kaidar¹, М. В. Kaidar², В. К. Shapkenov³, А. Р. Kislov⁴, V. P. Markovsky⁵

Reduction of high frequency components active filters in networks with frequency converter

¹«MC SEZ HimPark Taraz»,
Shu, 081000, Republic of Kazakhstan;

²«KazTransGas»,

Astana, 010000, Republic of Kazakhstan;

^{3,4,5}S. Toraighyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 17.08.18.

Мақалада статистикалық тиристорлық реактивті қуат компенсаторлары және белсенді сүзгі өтемдік құрылғылары бар. Белсенді гармоникалық фильтрлер барлық бұрмаланулардың орнын толтырады. Олар үнемі ток пен кернеудің формасындағы ауытқуларды міндетті түрде өлшейді, ал электрлік электронды түрлендіргіштердің көмегімен байқалған бұрмалануларға антифаза кезінде сигнал пайда болады. Жеткізу желісіне кіре отырып, ол бұрмалаудың орнын толтырады және белсенді гармоникалық фильтрді енгізуінде іс жүзінде мінсіз синусоидты қалпына келтіреді. Жүйенің ең үнемді оңтайландыруына ықпал ететін, жүктемемен олардың үйлесімділігін, п.э.к. тиімділігін арттыратын конструкторлық шешімдер ұсынылды. Ұсыныстарды орындау жабдықтың қалыпты пайдалану мерзімін ұзартуы мүмкін.

The article deals with static thyristor reactive power compensators and active filter compensating devices.

Active harmonic filters compensate almost all distortions. They continuously measure the deviation of the current and voltage form from the required, and with the help of power electronic converters, a signal is generated, which is in antiphase to the observed distortions. By entering the supply network, it compensates for distortion and at the input of the active harmonic filter almost perfect sinusoid is restored.

Design solutions are recommended that contribute to the most cost-effective optimization of the system, increase efficiency loads and their compatibility. Compliance with the recommendations may extend the standard operating life of the equipment.

ГРНТИ 44.29.01

**А. Б. Кайдар¹, М. Б. Кайдар², Б. К. Шапкенов³,
А. П. Кислов⁴, В. П. Марковский⁵**

¹м.т.т., гл. менеджер, АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз», г. Шу, 081000, Республика Казахстан;

²менеджер, АО «КазТрансГаз», г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

³к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁴к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁵к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: ¹argin_intel@mail.ru; ²m.kaidar@amangeldygas.kz;

³argin_intel@mail.ru; ⁴kislovpsu@mail.ru; ⁵wadim54@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ ИСКАЖЕНИЯ СИНУСОИДАЛЬНОСТИ И УЛУЧШЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЯХ

В статье обсуждаются проблемы искажения синусоидальности кривой напряжения, вызванные мощными нелинейными потребителями в сетях Павлодарского энергоузла, Аксуской и Экибастузских ГРЭС. Приводятся суточные графики коэффициентов искажения синусоидальности кривой напряжения в пунктах измерений.

Рассматриваются вопросы применения для повышения качества напряжения аппаратные и схемные решения. Рекомендуются при реконструкции использовать активные фильтрокомпенсирующие устройства на базе модульных многоуровневых преобразователей напряжения.

Ключевые слова: энергосистема, резкопеременные потребители, активные фильтрокомпенсирующие устройства, динамические компенсаторы искажений напряжения.

ВВЕДЕНИЕ

В энергосистеме Казахстана существуют мощные нелинейные, несимметричные или резкопеременные потребители, питающиеся от сети с относительно малым током короткого замыкания (КЗ). Примерами таких потребителей являются предприятия цветной (ПАЗ) и черной

(АЗФ) металлургии, Экибастузские угледобывающие предприятия, тяговые подстанции железных дорог, насосные нефтепроводов, и Канала им. К. Сатпаева. Качество электроэнергии на электрически близких к этим потребителям подстанциях может не удовлетворять требованиям ГОСТ. Низкое качество электроэнергии приводит к снижению выработки или браку выпускаемой продукции, уменьшению срока службы или порче технологического оборудования и другим негативным последствиям, приводящим в конечном итоге к экономическим убыткам как виновников искажений показателей качества электроэнергии (ПКЭ), так и смежных с ними потребителей.

Например, из-за низкого качества электроэнергии на шинах открытого распределительного устройства 220 кВ (ОРУ- 220 кВ) на подстанции ГПП-2 220 кВ г. Аксу, питающей Аксуский завод ферросплавов, филиал АО «ТНК «Казхром» РК, периодически происходят отказы технологического оборудования, взрываются трансформаторы тока.

С 1970-х годов для симметрирования тяговой нагрузки железных дорог, уменьшения фликера, вызванного работой дуговых сталеплавильных печей (ДСП), и в ряде других задач применяются статические тиристорные компенсаторы (СТК) – компенсирующие устройства (КУ), выполненные на базе не полностью управляемых (не запираемых) силовых ключей. Развитие силовой электроники привело к созданию КУ, использующих полностью управляемые силовые ключи и обладающих рядом преимуществ по сравнению с СТК. К устройствам на базе полностью управляемых ключей относят различные типы активных фильтрокомпенсирующих устройств (АФКУ): поперечно подключаемые АФКУ; продольно подключаемые АФКУ, называемые динамическими компенсаторами искажений напряжения; продольно-поперечно подключаемые кондиционеры электроэнергии.

АФКУ были предложены в 70-х годах, однако, до 2000-х годов в мире выпускались только низковольтные АФКУ мощностью до нескольких Мвар. Создание мощных высоковольтных АФКУ, пригодных для симметрирования тяговой нагрузки и компенсации токов ДСП, стало возможным с появлением новых схем преобразователей напряжения (ПН). В настоящее время выпускаются мощные высоковольтные АФКУ, выполненные на базе модульных многоуровневых преобразователей напряжения со схемой соединения фаз в треугольник. Существуют и другие схемы соединения фаз модульных многоуровневых преобразователей напряжения, в частности схема соединения в две звезды. В настоящее время данная схема используется в передачах постоянного тока, однако, при модернизации ее системы управления она может применяться и для создания АФКУ. Преимущества данной схемы по сравнению со схемами соединения фаз в треугольник или

в звезду заключаются в том, что она может быть использована во всех типах АФКУ (подключаемых продольно/поперечно и продольно-поперечно), а также в различных устройствах с накопителями энергии.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Величины показателей качества электроэнергии (ПКЭ) согласно ГОСТ Р 54149-2010 определяются формой напряжения в точке передачи электрической энергии (рисунок 1). Источниками искажений ПКЭ, рассматриваемых в данной статье, являются нагрузки, потребляющие переменный реактивный ток, либо высшие гармоники тока, либо токи обратной последовательности.

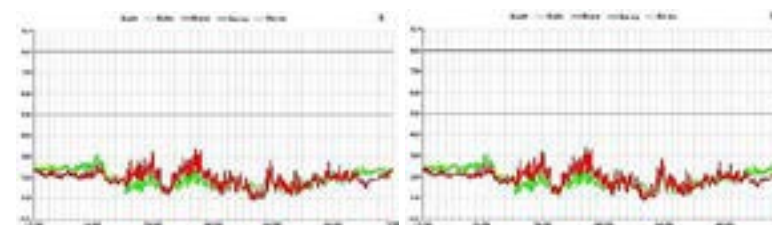


Рисунок 1 – Суточные графики коэффициентов искажения синусоидальности кривой напряжения в пунктах измерений

Вышеперечисленные токи создают падение напряжение на сопротивлении сети, что приводит к искажению параметров напряжения в точке подключения потребителя. Нормализация ПКЭ возможна несколькими принципиально разными способами:

- компенсацией токов, вызывающих искажения параметров напряжения;
- компенсацией искажений напряжения в точке подключения нагрузки;
- изменением схемы электроснабжения.

Компенсация токов.

Введем два допущения:

- ток нагрузки определяется главным образом первой гармоникой напряжения;
- при подключении КУ параллельно с нагрузкой изменение величины тока нагрузки пренебрежимо мало.

В этом случае нагрузка может быть заменена эквивалентным источником тока. Однофазная схема системы, состоящей из нагрузки, КУ и сети, представленной эквивалентным источником напряжения e за индуктивностью L показана на рисунке 2, где I_H – ток нагрузки, I_K – ток КУ, I_{Σ} – суммарный ток нагрузки и КУ.

При симметричном синусоидальном эквивалентном источнике напряжения для компенсации искажений напряжения достаточно обеспечить потребление из сети симметричного синусоидального активного тока, то есть скомпенсировать искажающую нагрузку. При постоянной нагрузке достаточно применения соответствующих типов неуправляемых КУ таких, как ФКУ или БСК. Расчет параметров этих неуправляемых КУ хорошо изучен и достаточно подробно освещен, в частности в [1, С. 147–155]. Для компенсации переменной нагрузки используют управляемые тиристорные и транзисторные КУ [2, с. 290–300].

В некоторых случаях сеть не может быть представлена эквивалентным симметричным и синусоидальным источником напряжения за сопротивлением. Если источники искажений подключены к различным узлам сложной схемы, то ухудшение ПКЭ в точке присоединения какого-то потребителя может быть обусловлено работой оборудования, присоединенного к нескольким другим узлам энергосистемы. Подобный случай характерен для сетей, питающих железнодорожные транзиты [3, 4]. При этом для нормализации ПКЭ у какого-то одного потребителя может потребоваться установка нескольких КУ на различных ПС.

Динамическая компенсация искажений напряжения. Однако, возможно и принципиально другое решение – непосредственная компенсация искажений напряжения на шинах ответственных/чувствительных к ПКЭ потребителей. В рассечку цепи питания ответственного потребителя включается серийный трансформатор, а к его вторичной обмотке подключается ПН, компенсирующий искажения сетевого напряжения [5, с. 327–335]. Однофазная схема сети с нагрузкой, представленной источником тока, КУ и источником напряжения за индуктивностью L представлена на рисунке 3, где i_n – ток нагрузки, u_n – напряжение в точке подключения серийного трансформатора к сети, u_k – напряжение в точке подключения нагрузки, u_k – напряжение на зажимах ПН. Мгновенное значение уставки напряжения u_k^* , формируемого ПН, определяется [6, с. 366–374]:

$$u_k^*(t) = u_c(t) - u_c^*(t),$$

где $u_c^*(t)$ – напряжение, соответствующее первой гармонике прямой последовательности сетевого напряжения.

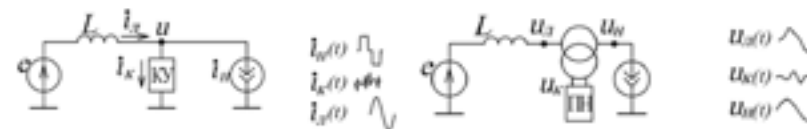


Рисунок 2 – Компенсация токов искажающей нагрузки

Рисунок 3 – Динамическая компенсация искажений напряжения

Достоинством данного подхода является способность нормализации ПКЭ у потребителя установкой КУ в том же узле, недостатком – необходимость установки серийного трансформатора [7, с. 3–32].

Схемные решения являются альтернативой использованию КУ для улучшения ПКЭ. В ряде случаев этот вид мер по обеспечению ПКЭ практически беззатраден. Например, равномерное распределение однофазных потребителей по фазам позволяет уменьшить несимметрию напряжения, однако, при переменном характере нагрузок данный подход неприменим. В ряде других случаев схемные решения могут быть единственным способом улучшения ПКЭ. Например, использование управляемых статических КУ для ослабления фликера, вызванного работой ДСП, может быть не достаточно для достижения требуемых ГОСТ показателей. В подобных случаях может потребоваться дорогостоящее строительство дополнительных ЛЭП для уменьшения эквивалентного сопротивления сети.

Для исследования характеристик гибридных ФКУ были использованы методы компьютерного моделирования.

Основной задачей моделирования гибридных фильтрокомпенсирующих устройств является подтверждение результатов исследования компенсационных характеристик основных структур гибридных фильтров [8, с. 126–127]. Программа схемотехнического моделирования Pspice является модификацией известной программы моделирования интегральных схем SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) [8, с. 126–127]. На рисунке 4 включение пассивного фильтра происходит в момент времени 0,22 с, на рисунке 5 включение активного фильтра происходит в момент времени 0,41 с.

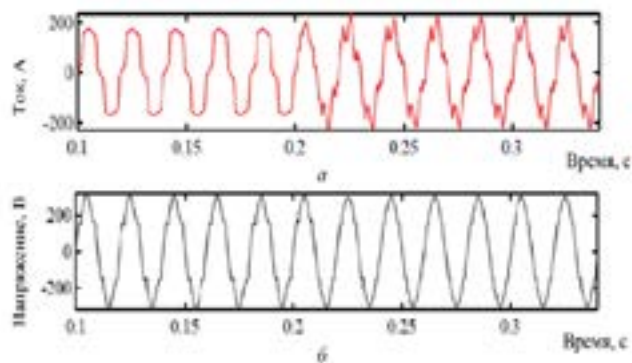


Рисунок 4 – Токи (а) и напряжения (б) до и после включения пассивного фильтра

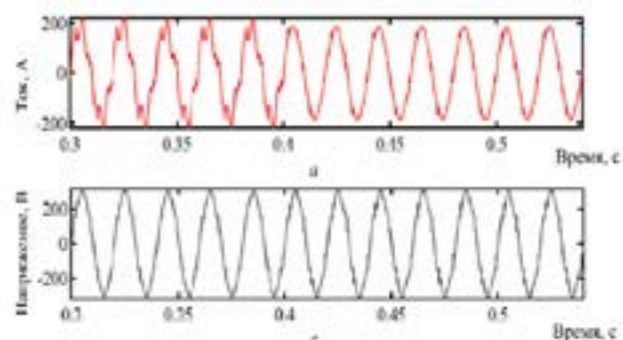


Рисунок 5 – Токи (а) и напряжения (б) до и после включения активного фильтра

ВЫВОДЫ

У отдельно взятого потребителя повышение качества электроэнергии может быть обеспечено применением динамической компенсации искажений напряжения. При необходимости нормализации ПКЭ в целом энергорайоне необходима компенсация токов искажающих нагрузок.

АФКУ может быть использовано для фильтрации токов нагрузки и искажений сетевого напряжения. Создание мощных высоковольтных АФКУ целесообразно на базе модульных многоуровневых преобразователей. Среди рассмотренных видов модульных многоуровневых ПН схема «2У» может быть использована для всех вариантов подключения АФКУ: поперечного, продольного и продольно-поперечного. АФКУ может быть использовано

для улучшения всех нормированных ПКЭ, за исключением импульсных напряжений и отклонений частоты.

Наиболее перспективной областью применения АФКУ является компенсация токов переменных искажающих нагрузок, таких как железнодорожные электровозы, преобразовательные установки приводов прокатных станов, электролизеров, дуговые сталеплавильные печи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Темирханов, Е. У., Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Кислов, А. П., Марковский, В. П.** Защита и мониторинг режимов сталеплавильных печей на «KSP Steel» и ТОО «Кастинг» быстродействующими микропроцессорными системами БМРЗ-100. Вестник ПГУ, Серия энергетическая, 2016 г. – № 3. С. 147–155. ISSN 1811–1858.

2 **Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Акимжанов, Т. Б., Кондратюк, А. В., Сабитова, М. К.** Гибкие микропроцессорные защиты от аварийных режимов распределительных сетей. Материалы Международной научно-практической конференции «VIII Торайгыровские чтения», посвященной 25-летию независимости Республики Казахстан. – Павлодар: 2016. – Т. 6. – С. 290–300. – ISBN 978-601-238-669-1 (Т.6).

3 Повышение эффективности электроснабжения городских электрических сетей: Монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, А. П. Кислов, В. П. Марковский, М. Б. Кайдар. – Павлодар : Кереку, 2016. – 153 с. – ISBN 978-601-238-674-5.

4 **Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б.** Оптимизация параметров и режимов работы городских электрических сетей: монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, М. Б. Кайдар. – Алматы : Эверо, 2016. – 176 с. – ISBN 978-601-310-762-2

5 **Темирханов, Е. У., Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Сейтказин, С. Б., Акаев, А. М.** Причины возникновения высших гармонических в сетях переменного тока и результат их воздействия. Материалы Международной научно-практической конференции «VIII Торайгыровские чтения», посвященной 25-летию независимости Республики Казахстан. – Павлодар, 2016. – Т. 6. – С. 327–335. – ISBN 978-601-238-669-1 (Т.6).

6 **Шапкенов, Б. К., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Темирханов, Е. У., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Тюлюгенова, Л. Б.** Сетевые токовые гармоники и их негативное влияние. Материалы Международной научно-практической конференции «VIII Торайгыровские чтения», посвященной 25-летию независимости Республики Казахстан. – Павлодар, 2016. – Т. 6. – С. 366–374. – ISBN 978-601-238-669-1 (Т.6).

7 Экспертное заключение от 21.06.2017 года № 07/17 по результатам экспертизы промышленной безопасности по рабочему проекту «2-я очередь главной понизительной подстанции №2» на Аксуском заводе ферросплавов, филиала АО «ТНК «Казхром» РК на соответствие требованиям нормативной документации по промышленной безопасности, действующей в Республике Казахстан (ОВОС). ГП «ГипроПром». 2017, с. 32.

8 Синтез фильтрокомпенсирующих устройств для систем электроснабжения: коллективная монография / Н. П. Боярская, В. П. Довгун, Д. Э. Егоров и др.; под ред. В. П. Довгуна. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2014. – 192 с.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

A. B. Kaidar¹, M. B. Kaidar², B. K. Shapkenov³, A. P. Kislov⁴, V. P. Markovskiy⁵

Өнеркәсіптік желілердің электромагниттік жағдайында жақсаруы және синусоидальды бұрмалау мәселелері

¹«Тараз химиялық паркі АЭА» БК» АҚ;

Шу қ., 081000, Қазақстан Республикасы;

²«ҚазТрансГаз» АҚ;

Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

^{3,4,5}С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

A. B. Kaidar¹, M. B. Kaidar², B. K. Shapkenov³, A. P. Kislov⁴, V. P. Markovskiy⁵

The problems of harmonic distortion and the improvement of the electromagnetic environment in industrial networks

¹JSC «MC SEZ HimPark Taraz»,

Shu, 081000, Republic of Kazakhstan;

²JSC «KazTransGas»,

Astana, 010000, Republic of Kazakhstan;

^{3,4,5}S. Toraihyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 17.08.18.

Мақалада Павлодар энергия орталығы, Ақсу және Екібастұз МАЭС желілеріндегі күшті сызықтық емес тұтынушылардың туындаған кернеу қисық сызығының синусоидальды бұрмалану

мәселелері қарастырылады. Өлшеу нүктелеріндегі кернеу қисық сызығының синусоидальды бұрмалану коэффициенттерінің тәуліктік графикасы берілген.

Кернеу сапасын жақсарту үшін аппараттық және схемалық шешімдерді қолдану проблемалары қарастырылады. Модульдік көп деңгейлі кернеу түрлендіргіштеріне негізделген белсенді сүзгі-өтемді құрылғыларды пайдалану ұсынылады.

The article discusses the problem of harmonic distortion of the voltage waveform, caused by strong non-linear consumers in power unit networks in Pavlodar, Aksu and Ekibastuz State District Power Plant. Provides daily schedules of coefficients of harmonic distortion of the voltage waveform at points of measurement.

The questions of application of hardware and circuit solutions to improve the quality of voltage are considered. It is recommended to use active filter-compensating devices based on modular multilevel voltage converters during the reconstruction.

**А. Б. Кайдар¹, М. Б. Кайдар², Б. К. Шапкенов³,
В. П. Марковский⁴, А. П. Кислов⁵**

¹м.т.и т., гл. менеджер, АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз», г. Шу, 081000, Республика Казахстан;

²менеджер, АО «КазТрансГаз», г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

³к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁴к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁵к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: ^{1,3}argin_intel@mail.ru; ²m.kaidar@amangeldygas.kz; ⁴wadim54@mail.ru;

⁵kislovpsu@mail.ru

СНИЖЕНИЕ НЕСИММЕТРИИ И ФЛИКЕР ЭФФЕКТА В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В статье рассмотрены вопросы несимметрии в высоковольтных сетях, возникновение фликера и другие показатели качества электроэнергии. Приведена классификация показателей качества электроэнергии. Также акцентируется внимание на вопросах несинусоидальности напряжения в сетях с нелинейными нагрузками.

Предлагаются схемные решения по повышению качества напряжения путем равномерного распределения нагрузок по фазам, и аппаратные, в том числе использование активных резонансных фильтров АФКУ для улучшения синусоидальности и динамических компенсаторов искажений сетевого напряжения для устранения фликера.

Ключевые слова: качество электрической энергии, сетевые гармоники, фликер, активные фильтры, динамическая компенсация, несинусоидальность напряжения, нелинейные нагрузки.

ВВЕДЕНИЕ

В электротехнических системах в последнее время все чаще используются мощные электроприемники, которые вносят значительные искажения в напряжение питающей электросети. Это оборудование часто требует высококачественного питания для их безупречной работы. Но, так

как оно само является основным генератором нарушений, то в конечном итоге очевидно взаимовлияние работы оборудования и качества электроэнергии. Примерами таких потребителей являются предприятия цветной (АО «ТНК Казхром» ПАЗ) и черной (АО «ТНК Казхром» АЗФ) металлургии, разрезы Богатырь, Восточный, Северный Экибастузского угольного месторождения, головная насосная перекачивающая станция «Павлодар» KazTransOil, АО, Восточный филиал, Бозшакольский ГОК Группы KAZ Minerals и др. Качество электроэнергии на электрически близких к этим потребителям подстанциях может не удовлетворять требованиям ГОСТ. Низкое качество электроэнергии приводит к снижению выработки или браку выпускаемой продукции, уменьшению срока службы или порче технологического оборудования и другим негативным последствиям, приводящим в конечном итоге к экономическим убыткам как виновников искажений показателей качества электроэнергии (ПКЭ), так и смежных с ними потребителей.

Например, из-за низкого качества электроэнергии на шинах открытого распределительного устройства 220 кВ (ОРУ–220 кВ) на подстанции ГПП-2 220 кВ г. Аксу, питающей Аксуский завод ферросплавов, филиал АО «ТНК «Казхром» РК, периодически происходят отказы технологического оборудования, взрываются трансформаторы тока.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Показатели качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения нормированы во многих странах. Структура показателей согласно казахстанскому ГОСТу 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» приведена на рисунке 1. Анализ показателей качества электроэнергии (ПКЭ) с точки зрения определения перспектив применения мощных высоковольтных активных фильтрокомпенсирующих устройств (АФКУ) показывает следующее.

Отклонения напряжения в электрических сетях зависят от многих факторов: уровней возбуждения синхронных генераторов, величины потребляемой нагрузками реактивной мощности, параметров электропередач, трансформаторов, компенсирующих устройств (КУ) и другого сетевого оборудования. Для нормализации отклонений напряжения принципиально могут быть использованы как продольно, так и поперечно подключаемые АФКУ. Однако, существующие более дешевые устройства стабилизации напряжения такие, как трансформаторы с регулированием под нагрузкой (РПН), вольтодобавочные трансформаторы, батареи статических компенсаторов и СТК позволяют решать эту же проблему, поэтому

использование АФКУ исключительно для уменьшения отклонений напряжения не целесообразно.

Несимметрия напряжения в электрических сетях предприятий обусловлена наличием мощных однофазных нагрузок (индукционных плавильных и нагревательных печей, сварочных агрегатов, печей электрошлакового переплава), а также трехфазных, длительно работающих в несимметричном режиме (например, дугосталеплавильных печей (ДСП)). Трехфазная система напряжений может быть несимметричной при питании сети предприятия от тяговой подстанции переменного тока.

При несимметрии напряжений в трехфазных сетях появляются дополнительные потери в элементах электросетей, сокращается срок службы ламп и электрооборудования и снижаются экономические показатели его работы.

При несимметрии напряжений в электрических машинах переменного тока возникают магнитные поля, вращающиеся не только с синхронной скоростью в направлении вращения ротора, но и с двойной синхронной скоростью в противоположном. В результате возникает тормозной электромагнитный момент, а также дополнительный нагрев активных частей машины, главным образом ротора, за счет токов двойной частоты.

Различают систематическую и вероятностную виды несимметрии [1, с. 86]. В первом случае для уменьшения коэффициентов несимметрии напряжения достаточно обеспечить более равномерное распределение нагрузок по фазам. При наличии небольшого количества мощных однофазных потребителей этот метод неприменим, в этом случае симметрирование нагрузки может быть обеспечено с помощью емкостных и индуктивных элементов, подключенных по схеме Штейнметца [2, с. 71]. Описанные выше методы симметрирования напряжения при переменной нагрузке не всегда способны обеспечить требуемое качество электроэнергии, поэтому в этих случаях используют регулируемые КУ. В частности для компенсации токов обратной последовательности тяговой железнодорожной нагрузки используют статические тиристорные компенсаторы (СТК) и СТАТКОМ [1, с. 37; 2, с. 42]. При работе СТК в несимметричных режимах в спектре токов ТРГ присутствуют все нечетные гармоники, что делает необходимым использование более дорогих ФКУ, по сравнению с фильтрами, входящими в состав симметрично работающих СТК. Спектр токов КУ, выполненных на базе преобразователей напряжения (ПН), имеет только высокочастотную составляющую, которая может быть скомпенсирована пассивными высокочастотными (ВЧ) фильтрами малой мощности.

Использование АФКУ на базе модульного многоуровневого преобразователя в дополнение к функции компенсации токов обратной последовательности позволит осуществлять активную фильтрацию гармоник токов нагрузки.

Применение АФКУ на тяговых подстанциях позволит обеспечить улучшение большего количества показателей качества электрической энергии по сравнению с вариантами использования СТК или СТАТКОМ.

Фликер – воспринимаемое человеческим глазом колебание освещенности от искусственных источников освещения, связанное с колебанием действующего значения напряжения (мерцание). Источниками фликера являются мощные резкопеременные стохастические нагрузки, такие как дуговые сталеплавильные печи (ДСП), и нагрузки с периодическими режимами работы, такие как группы асинхронных двигателей (например, на деревообрабатывающих предприятиях [49], прокатных станах металлургических заводов [1, 7]). Ослабление фликера может быть обеспечено за счет компенсации реактивного тока и токов обратной последовательности нагрузки. Для этой задачи применяются и тиристорные и транзисторные КУ [3, с. 327–335]. Применение КУ на базе ПН обеспечивает в 2–4 раза большее ослабление фликера, чем СТК [3, с. 327–335]. Как показывают экспериментальные исследования, СТК в некоторых случаях может приводить к усилению фликера [3, с. 327–335].



Рисунок 1 – Классификация показателей качества электроэнергии

Несинусоидальность напряжения связана с токами высших гармоник, которые создают падение напряжение на сопротивлении сети. Источником токов высших гармоник являются дуговые сталеплавильные печи, силовые полупроводниковые приборы и другое оборудование с нелинейными вольтамперными характеристиками. Для уменьшения искажений формы напряжения широко применяются пассивные фильтры. Вопросы рационального выбора их параметров для фильтрации токов высших гармоник стационарной нелинейной нагрузки хорошо изучены [3, с. 327–335]. В [1] рассмотрена работа резонансных фильтров в переходных режимах работы и показано, что при фильтрации высших гармоник токов преобразователей прокатных станов наблюдается 2х–4х кратное увеличение коэффициента несинусоидальности по сравнению со стационарным режимом работы. Этого недостатка лишены активные фильтры. Другим преимуществом АФКУ по сравнению с пассивными фильтрами является отсутствие опасности возникновения резонансных явлений между сетью и фильтром.

Динамический компенсатор искажений сетевого напряжения на базе продольно включаемого ПН позволяет компенсировать прерывания и провалы напряжения при использовании энергоемких накопителей в цепи постоянного тока [4, с. 366–374]. Компенсация прерываний и провалов напряжения с помощью СТК и неуправляемых КУ принципиально не возможна.

К показателям качества электроэнергии, которые не могут быть нормализованы с помощью КУ, относятся импульсные напряжения и отклонение частоты. Для ограничений импульсных напряжений используют нерегулируемые устройства с нелинейными вольтамперными характеристиками – ОПН, искровые разрядники. Нормализация частоты у отдельной группы потребителей возможна применением передачи или вставки постоянного тока, отделяющих их от остальной энергосистемы.

Перспективным направлением в разработке новых ФКУ и СУ является применение так называемых «тонких» преобразователей переменного тока (Thin AC Converter, ТАСС) [1]. При подключении ТАСС к существующим конденсаторам для коррекции коэффициента мощности может быть реализовано устройство, получившее название «динамический конденсатор», или безинверторный активный фильтр, представляющий собой батарею конденсаторов, подключенную к сети через полупроводниковый непосредственный АС/АС преобразователь. Наибольший интерес для практической реализации фильтрокомпенсирующие ФКУ и симметрирующие СУ устройства представляет схема, основанная на buck-преобразователе (рис. 2), поскольку применение boost- и buck-boost преобразователей предусматривает поддержание повышенного напряжения на конденсаторе [1, 2, 5].

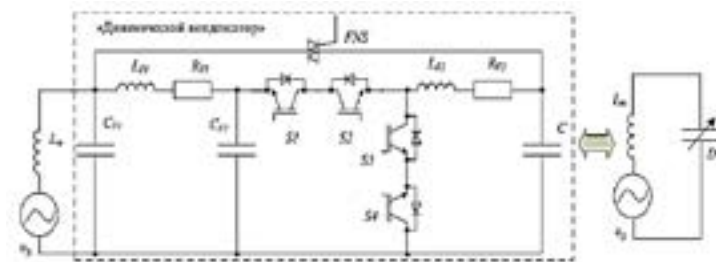


Рисунок 2 – Схема однофазного «динамического конденсатора» на основе buck-преобразователя

Это накладывает определенные требования к пробивному напряжению силовых ключей и является экономически неоправданным. Изменением скважности открытия двунаправленных ключей (S1S2 и S3S4) можно обеспечить плавное регулирование реактивной мощности. Реактивная мощность такого ФКСУ равна номинальной мощности батареи конденсаторов, умноженной на квадрат скважности управляющих импульсов двунаправленного ключа S1S2.

Для практической реализации такого СУ достаточно двух «динамических конденсаторов» (рис. 2), включенных открытым треугольником, и одного «динамического конденсатора», включенного в одну фазу звезды. Изменением положений ключей (если для 3 фазной схемы) можно обеспечить подключение «динамических конденсаторов» в нужные фазы треугольника и звезды и добиться компенсации несимметрии токов нагрузки.

ВЫВОДЫ

Применение КУ на базе ПН обеспечивает в 2–4 раза большее ослабление фликера, чем СТК.

Экспериментальные исследования показывают, что применение СТК в некоторых случаях может приводить к усилению фликера.

Применение резонансных фильтров в переходных режимах работы при фильтрации высших гармоник токов преобразователей прокатных станов наблюдается 2х–4х кратное увеличение коэффициента несинусоидальности по сравнению со стационарным режимом работы. Этого недостатка лишены активные фильтры. Другим преимуществом АФКУ по сравнению с пассивными фильтрами является отсутствие опасности возникновения резонансных явлений между сетью и фильтром.

У отдельно взятого потребителя повышение качества электроэнергии может быть обеспечено применением динамической компенсации искажений

напряжения. При необходимости нормализации ПКЭ в целом энергорайоне целесообразна компенсация токов искажающих нагрузок.

АФКУ может быть использовано для фильтрации токов нагрузки и искажений сетевого напряжения.

Создание мощных высоковольтных АФКУ целесообразно на базе модульных многоуровневых преобразователей.

Среди рассмотренных видов модульных многоуровневых ПН схема «2У» может быть использована для всех вариантов подключения АФКУ: поперечного, продольного и продольно-поперечного.

АФКУ может быть использовано для улучшения всех нормированных ПКЭ, за исключением импульсных напряжений и отклонений частоты.

Наиболее перспективной областью применения АФКУ является компенсация токов переменных искажающих нагрузок, таких как железнодорожные электровозы, преобразовательные установки приводов прокатных станков, дуговые сталеплавильные печи.

«Динамические конденсаторы» позволяют обеспечить плавное регулирование реактивной мощности, более того, они могут ограниченно выполнять функции активной фильтрации высших гармоник аналогично параллельным активным фильтрам. Однако при реализации в «динамических конденсаторах» функции активной фильтрации батареи конденсаторов оказываются нагружены токами высших гармоник. Это ограничивает возможность использования обычных конденсаторов для коррекции коэффициента мощности – зачастую они допускают работу с действующим током не более (1,3–1,5) номинального.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б.** Оптимизация параметров и режимов работы городских электрических сетей: монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, М. Б. Кайдар. – Алматы : Эверо, 2016. – 176 с. ISBN 978-601-310-762-2

2 Повышение эффективности электроснабжения городских электрических сетей: Монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, А. П. Кислов, В. П. Марковский, М. Б. Кайдар. – Павлодар : Кереку, 2016. – 153 с. – ISBN 978-601-238-674-5.

3 **Темирханов, Е. У., Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Сейтказин, С. Б., Акаев, А. М.** Причины возникновения высших гармонических в сетях переменного тока и результат их воздействия. Материалы Международной научно-практической конференции «VIII Торайгыровские чтения», посвященной 25-летию независимости Республики Казахстан. – Павлодар: 2016 г., т. 6. – С. 327-335. – ISBN 978-601-238-669-1 (Т.6).

4 **Шапкенов, Б. К., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Темирханов, Е. У., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Тюлюгенова, Л. Б.** Сетевые токовые гармоники и их негативное влияние. Материалы Международной научно-практической конференции «VIII Торайгыровские чтения», посвященной 25-летию независимости Республики Казахстан. – Павлодар : 2016 г., т. 6, с. 366-374. ISBN 978-601-238-669-1 (Т.6).

5 **Кислов, А. П., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П., Кайдар, М. Б., Кайдар, А. Б.** Вопросы нормализации показателей качества электроэнергии, с. 135-138/Актуальные проблемы автоматизации и энергосбережения в ТЭК России: материалы Всероссийского с международным участием научно-практического семинара (Нижевартовск, 6 апреля 2018 года) / отв. ред. А. Ю. Ковалев. Нижевартовск: Изд-во Нижеварт. гос. ун-та, 2018. – 186 с.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

А. Б. Кайдар¹, М. Б. Кайдар², Б. К. Шапкенов³, А. П. Кислов⁴, В. П. Марковский⁵

Симметриялы еместің төмендеуі және электротехникалық жүйелерде жарқылдың әсері

¹«Тараз химиялық паркі АЭА» БК» АҚ,
Шу к., 081000, Қазақстан Республикасы;

²«ҚазТрансГаз» АҚ,

Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

^{3,4,5}С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

А. В. Kaidar¹, М. В. Kaidar², В. К. Shapkenov³, V. P. Markovsky⁴, A. P. Kislov⁵

Reduced asymmetry and flicker effects in electrical systems

¹«MC SEZ HimPark Taraz»,

Shu, 081000, Republic of Kazakhstan;

²JSC «KazTransGas»,

Astana, 010000, Republic of Kazakhstan;

^{3,4,5}S. Toraighyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 17.08.18.

Мақалада жоғары вольтты желілердегі симметриялы емес жарқылдың пайда болуы және басқа да қуат сапасының

көрсеткіштері қарастырылады. Энергия сапа көрсеткіштерінің жіктелуі келтірілген. Сондай-ақ, сызықты емес жүктемелері бар желілердегі синусoidalды емес кернеу мәселелеріне де назар аударылады.

Фазаларда жүктемені біркелкі бөлу арқылы, соның ішінде жарқылдарды жою үшін желілік кернеу бұрмалануларының синусoidalды және динамикалық компенсаторларын жақсарту үшін белсенді резонанстық АСӨКҚ сүзгілерін пайдалану арқылы кернеу сапасын жақсарту үшін тізбекті шешімдер ұсынылады.

The article deals with the problems of asymmetry in high-voltage networks, the emergence of flicker and other indicators of power quality. The classification of indicators of power quality is given. The attention is also focused on the issues of non-sinusoidal voltage in networks with nonlinear loads.

Circuit solutions for voltage quality improvement by uniform distribution of loads in phases are proposed, and hardware, including the use of active ROS resonant filters to improve sinusoidality and dynamic compensators of mains voltage distortion to eliminate flicker.

ГРНТИ 44.29.01

**А. Б. Кайдар¹, М. Б. Кайдар², Б. К. Шапкенов³,
В. П. Марковский⁴, А. П. Кислов⁵**

¹м.т.и т., гл. менеджер, АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз», г. Шу, 081000, Республика Казахстан;

²менеджер, АО «КазТрансГаз»; г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

³к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁴к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁵к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: ^{1,3}argin_intel@mail.ru; ²m.kaidar@amangeldygas.kz; ⁴wadim54@mail.ru; ⁵kislovpsu@mail.ru

ДОПУСТИМЫЕ РЕЖИМЫ СТАТИЧЕСКИХ ТИРИСТОРНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ И АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

В статье приведены расчеты по определению областей допустимых режимов статических тиристорных компенсаторов (СТК) и активных фильтрокомпенсирующих устройств (АФКУ). В математическом и графическом виде представлены основные результаты сравнительного анализа режимов работы СТК и АФКУ.

Определена минимально необходимая мощность для работы СТК с реактивным током по прямой последовательности и током обратной последовательности.

Определена минимально необходимая мощность АФКУ для работы с реактивным током амплитуды по прямой последовательности и током обратной последовательности с амплитудой. Приведены области допустимых режимов работы СТК и АФКУ при их одинаковой номинальной мощности. По результатам анализа определены основные достоинства и недостатки рассмотренных режимов регулирования СТК и АФКУ, даны общие рекомендации по их применению.

Ключевые слова: качество электрической энергии, сетевые гармоники, фликер, активные фильтры, динамическая компенсация, несинусoidalность напряжения, нелинейные нагрузки.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время доля стали, выплавляемой в дуговых сталеплавильных печах (ДСП) в объеме мировой выплавки стали превышает 30%. Увеличение выплавки сопровождается ростом вместимости печей и их мощности. В настоящее время мощность ДСП, рассчитанных на питающее напряжение 35 кВ, достигает 100–200 МВА.

Дуговые сталеплавильные печи как нагрузки негативно влияют на качество электрической энергии питающей сети. Характер потребления активной и реактивной электроэнергии печными агрегатами соответствует их резкопеременным, повторно кратковременным режимам работы. Работа ДСП с нестабильным потреблением реактивной мощности сопровождается возникновением в электрической сети колебаний напряжения, а нелинейность и несимметрия фазных токов, потребляемых печью, приводит к искажению формы кривой тока, несимметрии напряжения. Значительная энергоёмкость сталеплавильного производства обуславливает повышенные требования к организации надёжных, рациональных режимов работы системы электроснабжения.

Одним из эффективных энергосберегающих мероприятий по повышению качества электроэнергии, снижению потерь электрической энергии, является установка средств компенсации неактивной мощности.

Нарушение баланса реактивной мощности в сторону дефицита приводит к отрицательному отклонению напряжения относительно его номинального уровня. На ТОО «KSP Steel» и ТОО «Кастинг» имеются дуговые постоянного и переменного тока и индукционные печи различной мощности, предназначенные для переплавки металлолома и выпуска различных марок чугуна и стали. Кроме этого, имеются различные устройства дуговой и плазменной сварки. Как известно, мощность печи имеет нелинейную зависимость от напряжения питания, поэтому из-за его снижения ухудшаются электрические характеристики самой ДСП. По этим причинам в системах электроснабжения мощных электросталеплавильных комплексов устанавливаются специальные компенсирующие устройства. Широкое распространение получили статические тиристорные компенсаторы (СТК), которые обладают достаточным быстродействием для компенсации резкопеременной нагрузки и возможностью пофазного регулирования для устранения несимметрии напряжений. Также к достоинствам СТК можно отнести их невысокую стоимость по сравнению с быстродействующими статическими компенсаторами [1, с. 87].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Показатели качества энергии (ПКЭ) зависят не только от характеристик нагрузки и компенсирующих устройств (КУ), но и от параметров сети. Для

корректного сравнения эффективности КУ необходимо ввести показатели, не зависящие от параметров сети. Поскольку в данной статье рассматривается только один подход к нормализации ПКЭ – компенсации токов, то эффективность работы КУ будем характеризовать коэффициентами:

- компенсации реактивного тока;
- компенсации тока обратной последовательности;
- компенсации высших гармоник тока;
- ослабления фликера (мерцания).

Корректное сравнение КУ возможно при условии, что мощность устройства достаточна, то есть отсутствует перегрузка фаз по току.

Номинальной мощностью устройства будем называть величину максимальной выдаваемой/потребляемой из сети мощности при условиях, что напряжение в точке присоединения номинальное, линейный ток КУ симметричный и устройство может работать в этом режиме неограниченно долго. При заданном номинальном напряжении номинальная мощность устройства определяет область достижимых режимов работы устройства в координатах I_p, I_2 , где I_p – амплитуда реактивного тока КУ по прямой последовательности, I_2 – амплитуда тока КУ по обратной последовательности.

Область допустимых режимов работы СТК. Будем считать, что напряжение в точке подключения статические тиристорные компенсаторы (СТК) близко к симметричному, тогда при одновременной компенсации реактивного тока нагрузки I_p и тока обратной последовательности I_2 , величины $I_{ТТГ}^{ab}, I_{ТТГ}^{bc}, I_{ТТГ}^{ca}$ фазных токов тиристорно-реакторных групп (ТРГ), определяются выражениями [1, с. 87]:

$$\begin{cases} I_{ТТГ}^{ab} = [I_p + I_\phi - \sqrt{3} Re(L_2) + I_m(L_2)]/\sqrt{3} \\ I_{ТТГ}^{bc} = [I_p + I_\phi - 2I_m(L_2)]/\sqrt{3} \\ I_{ТТГ}^{ca} = [I_p + I_\phi + \sqrt{3} Re(L_2) + I_m(L_2)]/\sqrt{3} \end{cases} \quad (1)$$

где I_p – линейный ток СТК по прямой последовательности, I_ϕ – линейный ток фильтрокомпенсирующие устройства (ФКУ) по прямой последовательности, I_2 – линейный ток СТК по обратной последовательности. Величинам, входящим в (1) на комплексной плоскости соответствуют вектора, изображенные на рисунке 1.

Будем считать, что режим работы СТК допустим, если:

$$0 \leq I_{ТТГ}^j \leq I_{ТТГ}^{max}, j = \{ab, bc, ca\}, \quad (2)$$

где $I_{ТРГ}^{max}$ – ток фазы ТРГ при максимально допустимом угле отпирания (зажигания) тиристорных вентилях при наибольшем рабочем напряжении. Для определения границ области допустимых режимов достаточно рассмотреть какую-либо одну фазу ТРГ. Максимальный ток фазы «bc» достигается при фазе тока I_2 равной $+90^\circ$, а минимальный – при -90° . Область режимов работы СТК задана системой неравенств:

$$\begin{cases} I_p + I_\phi - 2I_2 \geq 0, \\ I_p + I_\phi + 2I_2 \leq \sqrt{3}I_{ТРГ}^{max} \\ I_2 \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Граница области допустимых режимов работы СТК показана на рисунке 2 красным цветом. Режимы, соответствующие точкам, лежащим внутри области достижимости, могут быть получены при любой фазе тока I_2 .

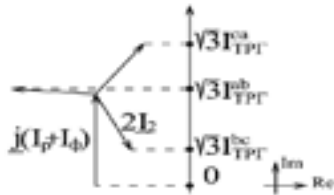


Рисунок 1 – Векторная диаграмма токов СТК

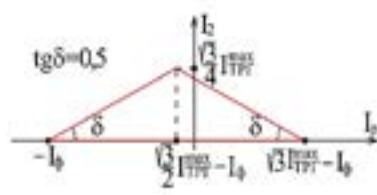


Рисунок 2 – Область допустимых режимов работы СТК

Минимально необходимая мощность ФКУ $S_{ФКУ}^{min}$ для работы СТК с реактивным током $I_{рм}$ по прямой последовательности и током обратной последовательности $I_{2м}$ определяется выражением:

$$S_{ФКУ}^{min} = \begin{cases} \sqrt{3/2} (2I_{2м} - I_{рм}) U_{л}^{rms}, & \text{при } I_{рм} < 2I_{2м} \\ 0, & \text{при } I_{рм} \geq 2I_{2м} \end{cases} \quad (4)$$

где $U_{л}^{rms}$ – действующее значение линейного напряжения в точке присоединения СТК. Положительный знак $I_{рм}$ соответствует индуктивному току, отрицательный – емкостному. Минимально необходимая мощность ТРГ $S_{ТРГ}^{min}$ определяется выражением:

$$S_{ТРГ}^{min} = S_{ФКУ}^{min} + \sqrt{3/2} (I_{рм} + 2I_{2м}) U_{л}^{rms}. \quad (5)$$

Область допустимых режимов работы АФКУ. Будем считать, что напряжение в точке подключения активное фильтрокомпенсирующее устройство (АФКУ) близко к симметричному, а режим работы АФКУ допустим, если пиковая величина тока по модулю меньше $I_{л}^m$ – максимально допустимого тока плеча. Для нахождения границ области допустимых режимов достаточно рассмотреть работу одного плеча. Ниже приводятся расчеты для верхнего плеча фазы «В».

При условии малости падения напряжения на реакторе по сравнению с амплитудой фазного напряжения верно соотношение:

$$e_{bp} \approx U_b \sin(\omega t) + 0,5 U_{dc}, \quad (6)$$

где e_{bp} – напряжение на каскаде модулей плеча, U_b – амплитуда фазного напряжения в точке присоединения АФКУ, U_{dc} – напряжение между полюсами преобразователя напряжения (ПН), ω – частота сети. Ток плеча складывается из половины линейного тока АФКУ и «внутреннего» тока, задаваемого регуляторами баланса энергий:

$$i_{bp} = 0,5 I_{л0} - 0,5 I_{дв} \quad (7)$$

где i_{bp} – ток плеча; $I_{л0}$ – линейный ток фазы АФКУ, $I_{дв}$ – постоянный «внутренний» ток фазы ПН. Мгновенное значение линейного тока АФКУ определяется выражением:

$$I_{л0} = I_p \cos(\omega t) + I_2 \cos(\omega t + \varphi), \quad (8)$$

где φ – фаза тока обратной последовательности.

Условие баланса энергии в плече в среднем на интервале T запишем в виде:

$$\int_{t-T}^t e_{bp}(\tau) i_{bp}(\tau) dt = 0, \quad (9)$$

где T – период промышленной частоты. В результате подстановки (7-8) в (9) найдем величину $I_{дв}$:

$$I_{дв} = I_2 \sin(\varphi) \frac{U_b}{U_{dc}}. \quad (10)$$

В результате подстановки (8) и (10) в (7) найдем ток плеча:

$$i_{bp}(t) = 0.5 (I_p \cos(\omega t) + I_2 \cos(\omega t + \varphi) - I_2 \sin(\varphi) \frac{U_b}{U_{ac}}). \quad (11)$$

Тогда условие достижимости режима:

$$\sqrt{(I_p + I_2 \cos(\varphi))^2 + (I_2 \sin(\varphi))^2} + I_2 \sin(\varphi) \frac{U_b}{U_{ac}} \leq 2I_n^m. \quad (12)$$

Из того, что $e_{bp} \geq 0$ следует, что $\frac{U_b}{U_{ac}} \leq 0,5$. Нахождение границы области допустимых режимов АФКУ аналитически сложнее, чем в случае с СТК, поэтому применяется метод численного решения. Алгоритм расчета границ приведен в [2, с. 103-133]. Приближенная зависимость $I_2(I_p)$ задается уравнением:

$$I_2(I_p) = 2I_n^m \left\{ 1 - 0,355 \sqrt{1 + (2,81 \cdot I_p / 2I_n^m)^2} \right\} \quad (13)$$

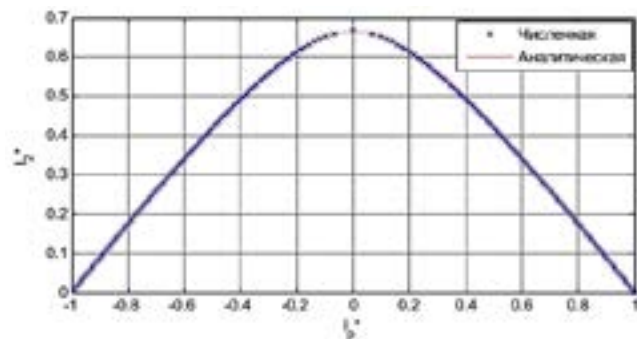


Рисунок 3 – Область допустимых режимов работы АФКУ

Граница области допустимых режимов работы АФКУ, полученная в результате численного решения, и график аппроксимирующей ее аналитической зависимости (13) приведены на рисунке 3. Величины даны в относительных единицах при базисной величине тока равной $2I_n^m$. Погрешность задания границы приближенной аналитической зависимостью не более 0,5 %. При заданных величинах I_2 и I_p уравнение 13 может быть разрешено относительно переменной I_n^m :

$$I_n^m \approx 0,563 \left\{ I_2 + \sqrt{(0,355I_2)^2 + (0,887I_p)^2} \right\} \quad (14)$$

Минимально необходимая мощность АФКУ $S_{АФКУ}^{min}$ для работы с реактивным током амплитуды I_{pm} по прямой последовательности и током обратной последовательности с амплитудой I_{2m} определяется выражением [3, с.135–138]:

$$S_{АФКУ}^{min} \approx 0,563 \left\{ I_{2m} + \sqrt{(0,355I_{2m})^2 + (0,887I_{pm})^2} \right\} \sqrt{6} U_n^{rms} \quad (15)$$

где U_n^{rms} – действующее значение линейного напряжения в точке присоединения АФКУ.

Области допустимых режимов работы СТК и АФКУ при их одинаковой номинальной мощности приведены на рисунке 4.

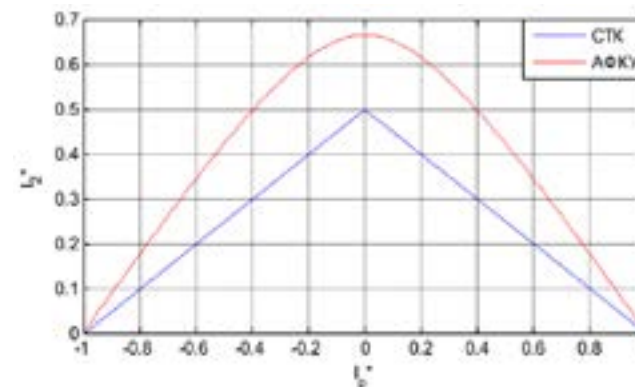


Рисунок 4 – Области допустимых режимов работы СТК и АФКУ

Токи даны в относительных единицах. Для этого случая номинальная мощность ТРГ вдвое больше номинальной мощности СТК, а номинальные мощности ФКУ, СТК и АФКУ одинаковы. Площадь области режимов работы АФКУ в 1,6 раза больше площади области режимов работы СТК, а наибольшее значение тока обратной последовательности АФКУ в 1,3 раза больше, чем в СТК.

ВЫВОДЫ

Показатели качества энергии (ПКЭ) зависят не только от характеристик нагрузки и компенсирующих устройств (КУ), но и от параметров сети.

Анализ областей допустимых режимов работы СТК и АФКУ при их одинаковой номинальной мощности показывает, что номинальная мощность ТРГ вдвое больше номинальной мощности СТК, а номинальные мощности ФКУ, СТК и АФКУ одинаковы. Площадь области режимов работы АФКУ в 1,6 раза больше площади области режимов работы СТК, а наибольшее значение тока обратной последовательности АФКУ в 1,3 раза больше, чем в СТК.

Минимальные мощности ФКУ и ТРГ, необходимые для работы СТК с реактивным током I_{pm} по прямой последовательности и током обратной последовательности I_{2m} , определяются уравнениями (4) и (5) соответственно. Минимальная мощность АФКУ, необходимая для его работы с реактивным током I_{pm} по прямой последовательности и током обратной последовательности I_{2m} , определяется уравнением (15), при условии, что АФКУ не компенсирует токи высших гармоник.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б. Оптимизация параметров и режимов работы городских электрических сетей: монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, М. Б. Кайдар. – Алматы : Эверо, 2016. – 176 с. – ISBN 978-601-310-762-2

2 Повышение эффективности электроснабжения городских электрических сетей: Монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, А. П. Кислов, В. П. Марковский, М. Б. Кайдар. – Павлодар : Кереку, 2016. – 153 с. – ISBN 978-601-238-674-5.

3 Кислов, А. П., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П., Кайдар, М. Б., Кайдар, А. Б. Вопросы нормализации показателей качества электроэнергии. – С. 135–138/Актуальные проблемы автоматизации и энергосбережения в ТЭК России: материалы Всероссийского с международным участием научно-практического семинара (Нижевартовск, 6 апреля 2018 года) / отв. ред. А. Ю. Ковалев. Нижевартовск: Изд-во Нижеварт. гос. ун-та, 2018. – 186 с.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

А. Б. Кайдар¹, М. Б. Кайдар², Б. К. Шапкенов³, В. П. Марковский⁴, А. П. Кислов⁵

Статикалық тиристорлы компенсаторлардың рұқсат етілген режимдері және белсенді сүзгі өтемді құрылғылар

¹«Тараз химиялық паркі АЭА» БК» АҚ,
Шу қ., 081000, Қазақстан Республикасы;

²«ҚазТрансГаз» АҚ,

Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

^{3,4,5}С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

А. Б. Kaidar¹, М. Б. Kaidar², В. К. Shapkenov³, V. P. Markovsky⁴,
A. P. Kislov⁵

Valid modes of the static VAR compensator and active filter and compensating devices

¹JSC «MC SEZ HimPark Taraz»,
Shu, 081000, Republic of Kazakhstan;

²JSC «KazTransGas»,

Astana, 010000, Republic of Kazakhstan;

^{3,4,5}S. Toraighyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 17.08.18.

Мақалада статикалық тиристорлы компенсаторлардың СТК рұқсат етілген режимдері мен белсенді сүзгі өтемді құрылғыларының БСӨҚ аймақтарын анықтау бойынша есептер келтірілген. Математикалық және графикалық түрде СТК мен БСӨҚ жұмыс режимдерін салыстырмалы талдаудың негізгі нәтижелері келтірілген.

Тұрақты тоқ және теріс тізбектегі токпен СТК жұмыс істеуі үшін ең аз деген қажетті қуаты анықталады.

БСӨҚ-ның амплитудасының реактивті тогымен жұмыс істеуі үшін тікелей ретпен және амплитудасы бар теріс тізбектің тоқ күшінің ең аз қажетті күші анықталды. СТК мен БСӨҚ рұқсат етілген жұмыс режимдері олардың бірдей номиналды қуатымен беріледі. Талдаудың нәтижелеріне сүйене отырып, СТК мен БСӨҚ реттеу режимдерінің негізгі артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды және оларды қолдану бойынша жалпы ұсынымдар берілді.

The article presents calculations to determine the areas of permissible modes of static thyristor compensators (STC) and active filter compensating devices (AFCD). The main results of the comparative analysis of the STK and AFCD operation modes are presented in mathematical and graphic form.

The minimum required power for the operation of the STC with a reactive current in a direct sequence and a reverse sequence current is determined.

The minimum required power of AFCD for operation with the reactive current of the amplitude in a direct sequence and the current of the inverse sequence with the amplitude is determined. Given the region of the allowed modes of STK and AFCD with the same nominal power. Based on the results of the analysis, the main advantages and disadvantages of the considered modes of STK and AFCD regulation are determined. General recommendations for their use are given.

ГРНТИ 44.29.01

**А. П. Кислов¹, А. Б. Кайдар², М. Б. Кайдар³,
Б. К. Шапкенов⁴, В. П. Марковский⁵**

¹к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²м.т.т., гл. менеджер, АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз», г. Шу, 081000, Республика Казахстан;

³менеджер, АО «КазТрансГаз», г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

⁴к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁵к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

e-mail: ¹kislovpsu@mail.ru; ²argin_intel@mail.ru; ³m.kaidar@amangeldygas.kz; ⁴argin_intel@mail.ru; ⁵wadim54@mail.ru

ТЕХНОЛОГИИ VPN ДЛЯ ТОО «TNS-INTEC» ДЛЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ УДАЛЕННЫХ ФИЛИАЛОВ И МОБИЛЬНЫХ СОТРУДНИКОВ

В статье поднимаются вопросы кибербезопасности в промышленном секторе Казахстана. Основные угрозы информационной безопасности предполагаются в квазигосударственном и частном секторе. Именно поэтому последние изменения в законодательстве в большей степени коснулись критически важной инфраструктуры страны. Как выясняется в прошлом 2017 году финансовых и технических средств на построение киберцита для успешного проведения ЭКСПО-2017 было недостаточно для надежной защиты от вредоносных программ. Большие проблемы были и у компаний, которые занимаются технологией и автоматизированными системами управления. Ряд компаний в Казахстане, не дожидаясь реального ущерба, начали проводить политику защиты своих сетей, в частности, использовать VPN-технологии. Активность хакеров пока не наносит серьезного вреда, ввиду того они еще не поняли, как монетизировать то, что они могут вскрыть какую-то сеть.

Ключевые слова: VPN-технологии, виртуальная частная сеть, корпоративная информационная система, широкополосное соединение, фиксированная сеть, Wi-Fi-доступ, голосовые сервисы

ВВЕДЕНИЕ

В июне 2017 года были опубликованы результаты исследований вредоносного ПО, которое получило название CrashOver-ride/Industroyer. Эксперты компаний ESET, Dragos Inc. и ряд независимых специалистов пришли к выводу, что это вредоносное программное обеспечение предназначено для нарушения рабочих процессов в промышленных системах управления (ICS), в частности, на электрических подстанциях [1]. CrashOverride/Industroyer позволяет напрямую управлять выключателями и прерывателями цепи в сети электрических подстанций.

Вредоносная программа умеет работать с четырьмя промышленными протоколами, распространенными в электроэнергетике, управлении транспортом, водоснабжении и других критических инфраструктурах: IEC 60870-5-101 (aka IEC 101), IEC 60870-5-104 (aka IEC 104), IEC 61850, OLE for Process Control Data Access (OPC DA). Создатели Crash Override/Industroyer могут перенастроить программу, чтобы атаковать любую промышленную среду, где используются целевые протоколы связи. Вероятнее всего, злоумышленники планировали использовать CrashOverride/Industroyer не в единичной атаке, а масштабировать его для атак на разные системы.

Другой особенностью CrashOverride/Industroyer, согласно отчету ESET, является дополнительная функция, позволяющая эксплуатировать уязвимости оборудования Siemens SIPROTEC, используемых в системах релейной защиты и автоматики. Отправив устройствам специально сформированную последовательность данных, можно их отключить. Для последующего включения необходима их ручная перезагрузка.

По поводу сименсовских защит считаем необходимым добавить. Из 600-сот сименсовских микропроцессорных защит от однофазного замыкания на землю в сетях 10 кВ, установленных на КазГрансОйл, ни одна не работает.

В случае использования этой функции вредоносным ПО при критической ситуации в электросети физический ущерб может не ограничиться отключением электроснабжения – атака может привести к повреждению оборудования вследствие несрабатывания релейной защиты и автоматики. При особым образом спланированных перегрузках атака в одном месте может привести к каскадным отключениям электроснабжения на нескольких подстанциях.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В современных условиях развитых информационных технологий, преимущества создания виртуальных частных сетей не могут быть не оценены. Но перед тем как перечислить наиболее очевидные, полезные, неоспоримые способы построения виртуальных частных сетей, необходимо разъяснить само понятие.

VPN (Virtual Private Network) или виртуальная частная сеть – это технология, при реализации которой выполняется обмен информации по виртуальному каналу с удаленной локальной сетью через сеть общего пользования с воспроизведением частного подключения. В данном контексте Интернет или другая интрасеть могут подразумеваться как сеть общего пользования.

Несколько лет тому назад невозможно было представить, насколько может поменяться стиль жизни и работы. Во многих организациях используется труд совместителей и удаленных сотрудников, которые работают на домашних компьютерах, а также используют услуги интернет-кафе, либо зон доступа беспроводных сетей общего пользования.

На данный момент для пользователей более важным является вопрос о том, как соединиться с корпоративной информационной системой. При этом им требуется широкополосное соединение независимо от того, используется ли фиксированная сеть или же Wi-Fi-доступ, так как нередко пользователи вынуждены работать в пути. В наше время все более популярными становятся виртуальные технологии, которые занимают в современной компании приоритетное положение. Так как они дают возможность устранения привязки голосовых сервисов к одному рабочему месту. Для получения данных услуг не требуется навсегда однозначное размещение сотрудников в офисе, нет необходимости вообще там находиться – достаточно использовать удаленное подключение. Многие организации внедряют решения с фиксированной и мобильной связью, чтобы обеспечить эффективное подключение мобильных сотрудников с помощью терминалов, которые могут работать с голосовыми сервисами и услугами по передаче данных. Это дает возможность таким работникам постоянно находиться на связи. Особо остро встает вопрос о доступе и аутентификации пользователей, когда есть удаленный доступ, особенно при переходе из одной сети общего пользования в другую [2, с. 354–361].

Кроме того, многие компании предусматривают возможность доступа только к определенным корпоративным ресурсам и приложениям для партнеров, консультантов и клиентов. То есть, очень многим может понадобиться доступ к вышеуказанным ресурсам из вне, не попадая под контроль IT – служб организации.

Появившееся многообразие вариантов доступа потребовало более серьезного отношения к обеспечению безопасности.

По мере большей распространенности высокоскоростного доступа к интернету все больше пользователей обращаются к корпоративным сетям, применяя широкополосные подключения.

Для резервирования информационной системы могут применяться различные возможности доступа. Широкополосные резервные каналы

имеют возможность обеспечивать устойчивость методом репликации данных на удаленных серверах. Что позволит уменьшить потери данных, а также поддержать работоспособность всей сети, как при неприятностях местного масштаба, таких, как выход из строя узла связи в связи с ударом молнии, обслуживающего головной офис компании, так и в случае масштабных стихийных бедствий, вроде ураганов и землетрясений [3, с. 216–220].

Технология Virtual Private Network становится доступной и у нас (рисунок 1). Она предназначена для безопасного подключения к серверу компании АО «ERG SERVICE» в головном офисе в Астане из филиала в городе Павлодаре, который занимается выпуском металлоконструкций и грузоподъемного оборудования различного технологического назначения и представляет большой модельный ряд современной крановой техники. Основными направлениями деятельности АО «Павлодарский машиностроительный завод» входящего в АО «ERG SERVICE» является производство: мостовых одно и двухбалочных кранов различного назначения и т.д.

АО «ERG SERVICE» имеют широкую сеть филиалов не только в соседних городах, но и в других странах. Естественно, что на таких предприятиях обычно существует своя корпоративная телекоммуникационная сеть, которая позволяет обмениваться служебной информацией и координировать работу сотрудников.

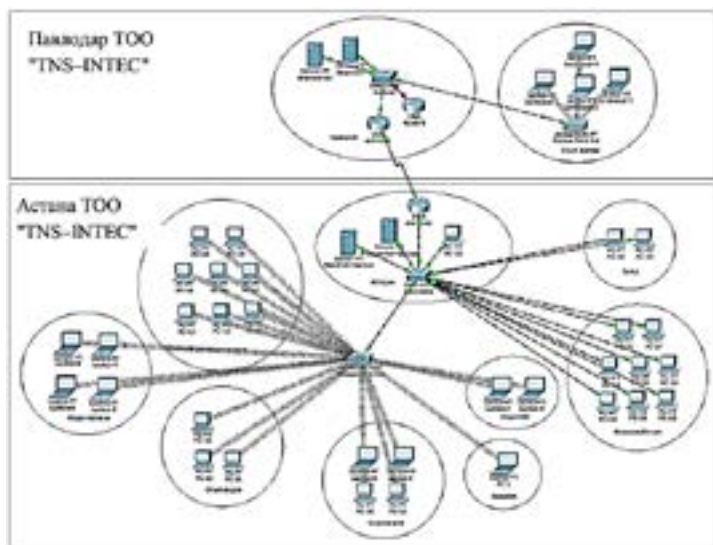


Рисунок 1 – Схема построения защищенной сети между головным офисом в городе Астана и удаленным филиалом в городе Павлодаре

При этом не каждая компания может позволить себе строительство собственной сети, т.к. это потребует значительных временных и финансовых затрат. В такой ситуации, когда объемы передаваемой информации не велики, а расстояние между объектами существенно возникает желание использовать сеть Интернет. Однако в таком случае передаваемые данные становятся подвержены промышленному шпионажу, а утечка внутренней информации может повлечь потерю конкурентоспособности и серьезным финансовым потерям. Технология VPN позволяет решить проблему передачи защищенной информации по общедоступным сетям всемирной паутины за счет организации защищенного соединения. Это позволит АО «Павлодарский машиностроительный завод» оперативно и безопасно связываться с АО «ERG SERVICE», с другими предприятиями, входящими в эту международную компанию, поддерживать связь, мониторить параметры технологических процессов из отдаленных от предприятия мест, управлять процессами, осуществлять контроль за транспортными средствами и т.д.

Основной задачей данного проекта является проектирование защищенной сети между головным офисом в городе Астана и удаленным филиалом в городе Павлодаре (рисунок 1).

Так как компания занимается автоматизацией подвижных составов, этот проект крайне необходим для того, чтобы автоматизировано и информационно поддерживать бизнес-процессы по учету, контролю и анализу потребления топливно-энергетических ресурсов.

Также это необходимо и для удаленных сотрудников, находящихся в командировках (рисунок 2) [4, С. 52–62; 5, С. 78–87]. В любой момент времени получить данные с транспортного средства, обработать их, составить отчет – залог успешной работы как для сотрудника так и для организации.

Среди всех основных выгод, можно выделить преимущества VPN для клиента: высокие скорости подключения, гарантированная полоса пропускания виртуальных каналов связи, отсутствие оплаты за кабельные линии, соединяющие локальные сети, более экономичное, надежное и безопасное решение для создания VPN.

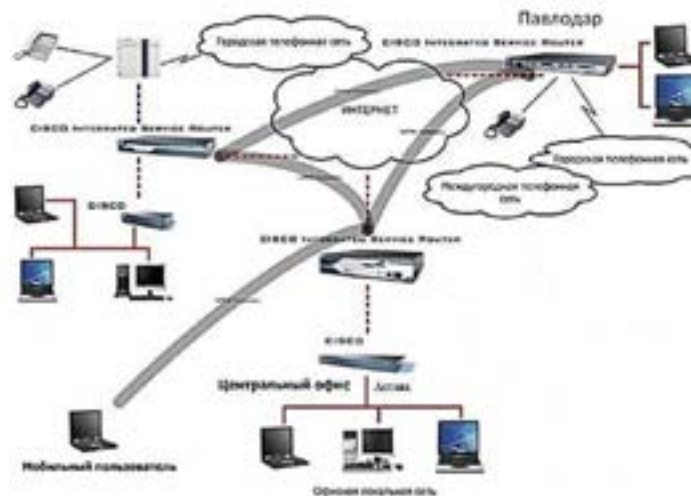


Рисунок 2 – Структурная схема организации сети

Основные преимущества в работе компании при использовании VPN–доступа в том, что уменьшаются затраты на: закупку, монтаж и конфигурирование серверов удаленного доступа и модемов, сетевое оборудование, управление клиентским программным обеспечением, контроль трафика удаленного доступа, телефонные соединения, количество высококвалифицированных сетевых администраторов, требуемое число портов доступа при увеличивающемся количестве удаленных пользователей, линии связи.

На сегодняшний день рынок оборудования представлен большим разнообразием производителей. Выбор того или иного производителя должен проводиться с учетом множества факторов, основные из них это: годность оборудования для реализации данного проекта, используемая технология, совместимость с другим оборудованием, стоимость оборудования.

При сравнении производителей большое преимущество имеет продукция компании Cisco Systems. Это американская транснациональная компания, разрабатывающая и продающая сетевое оборудование. Одна из крупнейших в мире, специализирующихся в области высоких технологий, которая стремится представить полный спектр сетевого оборудования, и таким образом предоставить возможность клиенту закупить абсолютно все необходимое сетевое оборудование исключительно у Cisco Systems.

Проект будет финансироваться из собственных средств компании. Установкой будут заниматься местные специалисты, работающие в данной

компании, настройкой и обслуживанием системы – специалист, владеющий знаниями по VPN–технологии.

ВЫВОДЫ

Использование VPN-защиты позволит сохранить данные и защитить устройства от кибер-преступников. По крайней мере усложнит постороннее вмешательство.

Использование VPN может замедлить скорость соединения.

Целесообразно выбирать провайдер VPN, имеющего сервера по всему миру, например такого, как Le VPN, а затем, из предложенных VPN-серверов, выбирать тот, который лучше всего подходит для ваших целей.

Кроме того, скорость зависит от применяемого VPN-протокола, его тоже нужно выбрать, исходя из ваших целей.

Каждый из протоколов предлагает различный уровень безопасности, предназначен для выполнения различных видов интернет-задач и по разному влияет на скорость соединения. OpenVPN или L2TP не самые лучшие для просмотра потокового контента, но гарантируют высокий уровень безопасности для передачи конфиденциальных данных, HybridVPN со SmartDNS лучше всего подходит для потокового мультимедиа, но обеспечивают меньший уровень безопасности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Ландшафт угроз для систем промышленной автоматизации, первое полугодие 2017. Интернет ресурс / Точка доступа: <https://ics-cert.kaspersky.ru/reports/2017/09/28/threat-landscape-for-industrial-automation-systems-in-h1-2017/>

2 **Марковский, В. П., Кислов, А. П., Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Шахман, Е. Т.** Программируемые логические контроллеры для систем противоаварийной автоматики. Материалы Международной научной конференции молодых ученых, магистрантов, студентов и школьников «XVI Сатпаевские чтения», Павлодар, ПГУ, том 26. – С. 354–361. – ISBN 978-601-238-613-4 (Т. 26).

3 **Марковский, В. П., Кислов, А. П., Кайдар, А. Б., Шапкенов, Б. К., Шахман, Е. Т., Марковская, А. В.** Повышение эффективности систем противоаварийной автоматики. Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии: сб. докл. 5-й междунар. науч.-практ. конф. в рамках специализир. форума «Expo Build Russia» (Екатеринбург, 14 апреля 2016 г.) / науч. ред. Ф. Н. Сарапулов. Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2016. – С. 216-220. – 265 с. – ISBN 978-5-8295-0439-7.

4 **Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Шапкенов, Б. К.** Идентификация объектов инфракрасными датчиками в микропроцессорных системах управления транспортными операциями. Вестник ПГУ, Серия энергетическая, 2016. – № 3. – С. 52–62. – ISBN 1811-1858.

5 **Кислов, А. П., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Антонцев, А. В.** Обеспечение контроля, защиты и управления современных производств программируемыми логическими контроллерами. Вестник ПГУ, Серия энергетическая, 2016. – № 3. – С. 78–87. – ISBN 1811-1858.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

A. P. Kislov¹, A. B. Kaidar², M. B. Kaidar³, B. K. Shapkenov⁴, V. P. Markovskiy⁵

Қашықтық филиалдарды және мобильдік қызметкерлерді қосуға арналған «TNS–INTEC» ЖШС үшін vpn технологиялары

^{1,4,5}С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

²«Тараз химиялық паркі АЭА» БК» АҚ,
Шу қ., 081000, Қазақстан Республикасы;

³«ҚазТрансГаз» АҚ,
Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы.
Материал 17.08.18 баспаға түсті.

A. P. Kislov¹, A. B. Kaidar², M. B. Kaidar³, B. K. Shapkenov⁴, V. P. Markovskiy⁵

VPN technologies for «TNS–INTEC» LLP for connection of remote branches and mobile staff

^{1,4,5}S. Toraihyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

²JSC «MC SEZ HimPark Taraz»,
Shu, 081000, Republic of Kazakhstan;

³JSC «KazTransGas»,
Astana, 010000, Republic of Kazakhstan.
Material received on 17.08.18.

Мақалада Қазақстанның индустриалды секторындағы киберқауіпсіздік мәселелері көтеріледі. Ақпараттық қауіпсіздіктің негізгі қауіп-қатері квазимемлекеттік, жеке секторда қабылданады. Сондықтан заңнамадағы ең соңғы өзгерістер елдегі маңызды инфрақұрылымға негізделген. 2017 жылы өткен ЭКСПО-2017-ні

сәтті өткізуге арналған киберкеңістік құрудың қаржы-техникалық құралдары зиянды бағдарламалардан сенімді қорғауды қамтамасыз ету үшін жеткіліксіз. Технологиялармен және автоматтандырылған басқару жүйелерімен айналысатын компаниялармен үлкен мәселелер болды. Қазақстандағы бірқатар компаниялар нақты зиянды күткен жоқ, өз желілерін қорғау саясатын жүргізе бастады, атап айтқанда, VPN-технологияларды қолдануға кірісті. Хакерлердің белсенділігі әлі де ауыр зиян келтірмейді, себебі олар желіні қалай ашуға болатынын түсінуге тырыспады.

The article raises the issues of cybersecurity in the industrial sector of Kazakhstan. The main threats to information security are assumed in the quasi-public and private sector. That is why the latest changes in legislation have affected the critical infrastructure of the country. As it turns out, last 2017 year financial and technical means for building a cyber shield for the successful conduct of EXPO-2017 was not enough for reliable protection against harmful programs. Companies that deal with technology and automated control systems also had big problems. A number of companies in Kazakhstan, without waiting for real damage, began to pursue a policy of protecting their networks, in particular, to use VPN technologies. Hackers activity while not causing serious harm, due to the fact they have not yet figured out how to monetize what they can to open some kind of network.

**А. П. Кислов¹, А. Б. Кайдар², М. Б. Кайдар³,
Б. К. Шапкенов⁴, В. П. Марковский⁵**

¹к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²м.т.т., гл. менеджер, АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз», г. Шу, 081000, Республика Казахстан;

³менеджер, АО «КазТрансГаз», г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

⁴к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁵к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

e-mail: ¹kislovpsu@mail.ru; ²argin_intel@mail.ru; ³m.kaidar@amangeldygas.kz;

⁴argin_intel@mail.ru; ⁵wadim54@mail.ru

ПОСТРОЕНИЕ ЗАЩИТЫ ПО НЕСКОЛЬКИМ ПРИЗНАКАМ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ В ТЯГОВЫХ СЕТЯХ

В статье показана актуальность вопросов быстродействия и селективности защит сетей городского электрифицированного транспорта. Указаны случаи недостаточно корректной работы защиты и случаи ее отказа. Предлагается осуществлять построение защиты по нескольким признакам короткого замыкания. Разработанная защита сможет надежно и селективно отключать токи короткого замыкания вблизи тяговых подстанций, а так же в удаленных точках. Данная защита получила название – многопараметрическая. Основное отличие многопараметрической защиты от существующих защит, умение одновременно и синхронно отслеживать значения нескольких параметров переходных процессов в тяговой сети. В процессе работы сопоставлять их и действовать по определенному алгоритму, соответствующему реальным режимам работы тяговой сети.

Ключевые слова: городской электрифицированный транспорт, тяговые подстанции, короткие замыкания, быстродействие и селективность защит, скорость изменения тока.

ВВЕДЕНИЕ

Среди основных технических требований, предъявляемых к современному подвижному составу городского электротранспорта, таких как повышение провозной способности, снижение материалоемкости вагонов, их ремонтпригодность, обеспечение заданных ускорений, замедлений, а также комфортных условий для пассажиров [1, 2], важное значение приобрело снижение энергопотребления, уменьшение трудоемкости на технологическое оборудование, улучшение условий труда, надежность работы.

Выполнение этих требований существующим подвижным составом проблематично, так как значительная часть вагонов морально и физически устарели. Так за последние полгода в Павлодаре из-за коротких замыканий сгорело два трамвая. Последний случай был 6 января 2018 года.

Неполадки в системе тягового оборудования нарушают график движения трамваев. Аварийная остановка одного трамвая приводит к остановке всех вагонов находящихся на этой линии. Повреждения в контактной сети приводит к обнулению всего секционированного участка, что также приводит к остановке движения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В настоящее время известны различные способы защиты отдельных элементов системы тяговая подстанция – тяговая сеть – трамвай (ТП–ТС–ТР), которые нашли практическое применение, использованы частично на стадии экспериментальных исследований, но не реализованных практически в силу различных причин. Основной недостаток их состоит в том, что они реагируют (контролируют) только один признак и его параметр одного элемента системы. Эти признаки: ток, напряжение, температура, сопротивление подвержены влиянию каждого в отдельности элемента системы ТП–ТС–ТР.

В ходе изучения аварийности в тяговых сетях, преобразователе, нагрузке рассматривались различные схемы подключения двигателей (рисунки 1–3), режимы работ, технические характеристики сети.

Существующие защиты тяговых преобразователей обладают рядом недостатков. В частности плохо реагируют на удаленные короткие замыкания, когда ток нагрузки сопоставим с током короткого замыкания.

Структурная схема защиты не предусматривает контроль совместного изменения параметров, которые, как подтверждают теоретические и экспериментальные исследования [1, с. 327–335], часто близки при штатных и аварийных режимах. Это обстоятельство приводит к нарушению селективности действия защит.

Вследствие отсутствия системного подхода к решению проблемы, к настоящему времени ее нельзя считать разрешенной даже с помощью

новых опытных образцов двухзонных [2, с. 360–366; 3, 153 с.] или двухпараметрических [4, с. 67–68] защит. В данном случае, предлагается построение защиты (рисунок 4) по нескольким признакам короткого замыкания. Разработанная защита сможет надежно и селективно отключать токи короткого замыкания вблизи тяговых подстанций, а так же в удаленных точках. Данная защита получила название - многопараметрическая [1, с. 327–335]. Основное отличие многопараметрической защиты от существующих защит, умение одновременно и синхронно отслеживать значения нескольких параметров переходных процессов в тяговой сети. В процессе работы сопоставлять их и действовать по определённому алгоритму, соответствующему реальным режимам работы тяговой сети.

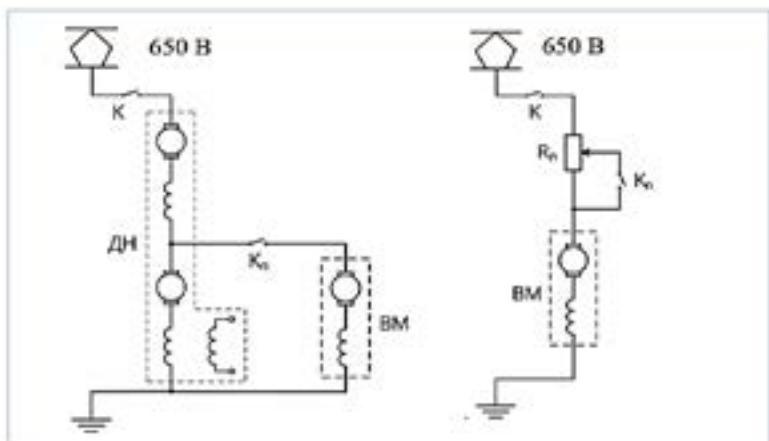


Рисунок 1 – Релейно-контакторные схемы подключения тяговых двигателей трамвая

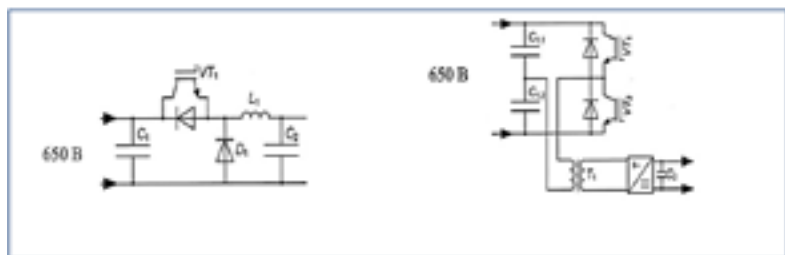


Рисунок 2 – Схемы подключения тяговых двигателей трамвая через электронные коммутаторы и преобразователи

В качестве примера рассмотрим типовой двухпутный участок тяговой сети постоянного тока (рисунок 5), включающий в себя два фидера смежных тяговых подстанций. На всех фидерах тяговых подстанций установлены быстродействующие автоматические выключатели, осуществляющие токово-импульсную защиту тяговой сети.

На каждом из фидеров тяговых подстанций, дополнительно к токово-импульсной защите предполагается устанавливать по комплекту электронной защиты, реализующей несколько алгоритмов: дистанционной защиты U/I, по приращению тока ΔI за время t , скорости нарастания тока di/dt . Таким образом, вместо одного из перечисленных признаков КЗ имеем защитное устройство, включающее в себя четыре признака.

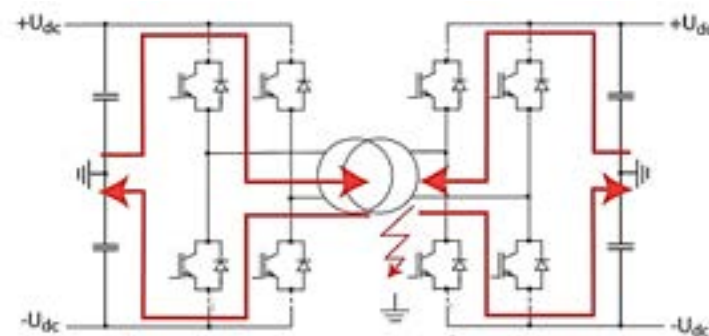


Рисунок 3 – Вариант регулирования напряжения на тяговых двигателях трамвая силовыми IGBT транзисторами

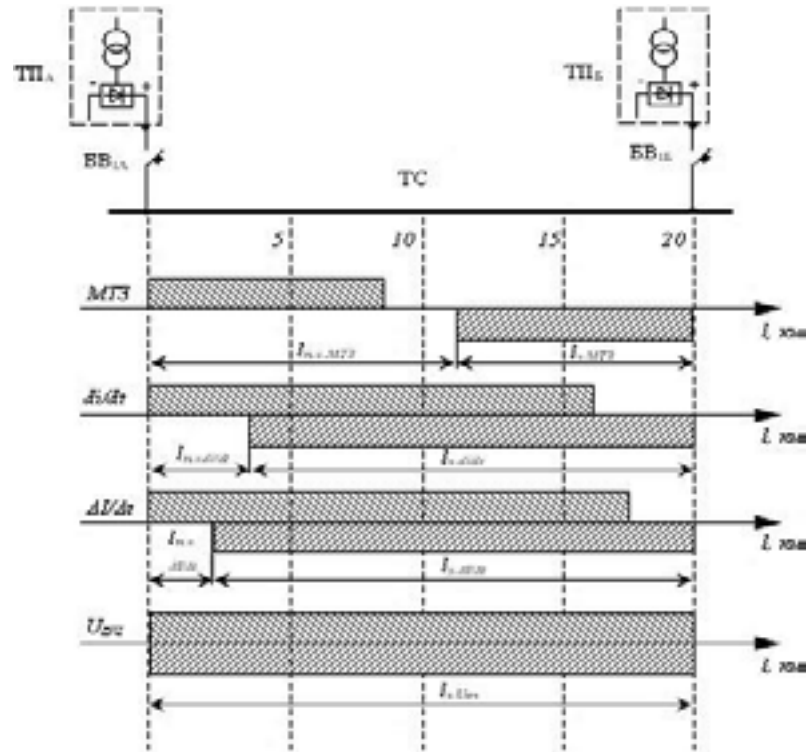


Рисунок 4 – Зоны действия многопараметрической защиты:
 $I_{y.MT3}$, $I_{m.3.MT3}$ – действующая и «мертвая» зоны максимальной токовой защиты МТЗ; $I_{y.di/dt}$, $I_{m.3.di/dt}$ – действующая и «мертвая» зоны защиты по скорости нарастания тока; $I_{y.ΔU/Δt}$, $I_{m.3.ΔU/Δt}$ – действующая и «мертвая» зоны защиты по приращению тока; $I_{y.U_{вч}}$ – зона действия защиты по высокочастотной составляющей напряжения

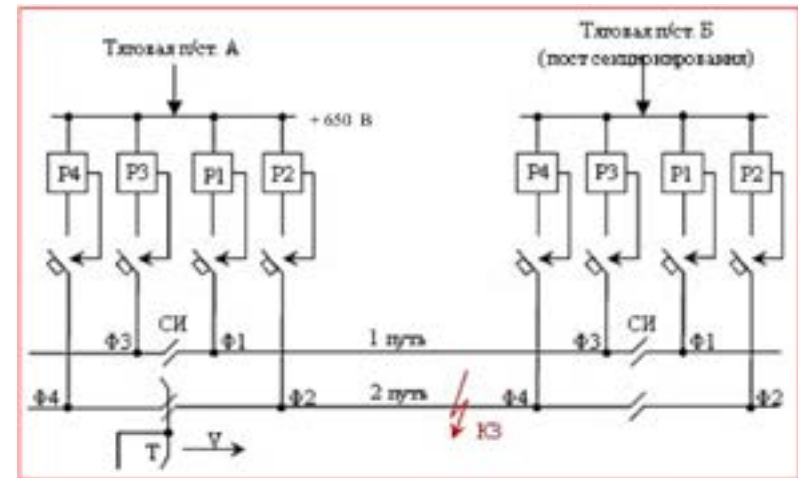


Рисунок 5 – Схема питания участка тяговой сети: Ф1 – Ф4 – фидеры тяговой подстанции; СИ – секционный изолятор; Т – токоприёмник

Токово-импульсная защита реализована на отдельном электромагнитном элементе – встроенном или внешнем электромагнитном реле и фактически реагирует на приращение тока ΔI в силу инерционности электромагнитного реле обладает хорошей чувствительностью лишь в ближней зоне. В удалённой точке при большой начальной нагрузке фидера и малых приращениях тока ΔI при КЗ может быть или потеря чувствительности, или ложное срабатывание (в зависимости от уставки). Защита на реле типа РДШ аналогична токовой отсечке. Защиту от КЗ в удалённых точках должна выполнять многопараметрическая электронная защита как составляющая всего защитного устройства фидера. Она функционально должна реагировать на признаки переходного процесса: скорость изменения тока di/dt , величина приращения тока ΔI . В целях повышения селективности её усредняют за некоторое время. Таким образом, имеем электронный вариант токовой отсечки ТО, дублирующий электромагнитное реле [3, 153 с.; 4, с. 67–68.].

Параметр скорости нарастания тока di/dt , как самый чувствительный и быстродействующий, для снижения числа ложных неселективных отключений может быть настроен по величине уставки на 50–60 % длины межподстанционной зоны [5, с. 183–186], что значительно увеличивает уставку по функции di/dt и повышает селективность защиты в целом. Совместное использование защит по различным параметрам позволяет повысить надежность действия защиты и обеспечить требования правил устройства электроустановок (рисунок 4).

ВЫВОДЫ

Анализ электромагнитных процессов в системе позволяет заключить, что наиболее рациональное разрешение проблемы быстрого и селективного отключения токов короткого замыкания следует искать на пути создания защитных устройств, реагирующих на несколько признаков переходного процесса, связанного с коротким замыканием.

Таковыми признаками являются:

- изменение тока, скорости его нарастания, приращение тока за определенный интервал времени;
- изменение переменной составляющей напряжения контактной сети;
- изменение спектра высокочастотных колебаний в электро-магнитно связанных контурах, расположенных параллельно тяговой сети;
- повышение температуры контактного провода;
- изменение импеданса тяговой сети;
- многопараметрический следящий контроль большого количества параметров и непрерывный анализ их изменения по сравнению с предельными значениями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Темирханов, Е. У., Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Сейтказин, С. Б., Акаев, А. М.** Причины возникновения высших гармонических в сетях переменного тока и результат их воздействия. Материалы Международной научно-практической конференции «VIII Торайгыровские чтения», посвященной 25-летию независимости Республики Казахстан. – Павлодар, 2016. – Т. 6. – С. 327–335. – ISBN 978-601-238-669-1 (Т. 6).

2 **Шапкенов, Б. К., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Темирханов, Е. У., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Файзулла, Д. Ф., Айтжанов, С. Е.** Реализация проектов в области использования ВИЭ в Павлодарском государственном университете. Материалы Международной научно-практической конференции «VIII Торайгыровские чтения», посвященной 25-летию независимости Республики Казахстан. – Павлодар, 2016. – Т. 6. – С. 360-366. – ISBN 978-601-238-669-1 (Т. 6).

3 Повышение эффективности электроснабжения городских электрических сетей: Монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, А. П. Кислов, В. П. Марковский, М. Б. Кайдар. – Павлодар : Кереку, 2016. – 153 с. – ISBN 978-601-238-674-5.

4 **Шапкенов, Б. К.** Комбинированная система защиты для рудничных контактных сетей. Тезисы докл. обл. научно-практ. конф. Молодые ученые

области – ускорению научн.-техн. прогресса и развитию науки, Павлодар, ПИИ, 1987, с. 67–68.

5 **Шапкенов, Б. К., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Кайдар, М. Б., Кайдар, А. Б.** Проблемы быстрого и селективного отключения токов короткого замыкания в сетях городского электрифицированного транспорта, с. 183–186 / Актуальные проблемы автоматизации и энергосбережения в ТЭК России: материалы Всероссийского с международным участием научно-практического семинара (Нижевартовск, 6 апреля 2018 года) / отв. ред. А. Ю. Ковалев. Нижевартовск: Изд-во Нижеварт. гос. ун-та, 2018. – 186 с.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

А. П. Кислов¹, А. Б. Кайдар², М. Б. Кайдар³, Б. К. Шапкенов⁴, В. П. Марковский⁵

Тарту желілерінде апатты төмендету үшін қысқа тұйықталудың бірнеше белгілері бойынша қорғаулар құрастыру

^{1,4,5}С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

²«Тараз химиялық паркі АЭА» БК» АҚ,

Шу қ., 081000, Қазақстан Республикасы;

³«ҚазТрансГаз»,

Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы.

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

A. P. Kislov¹, A. B. Kaidar², M. B. Kaidar³, B. K. Shapkenov⁴, V. P. Markovsky⁵

The construction of protection according to several characteristics of short-circuit protection for the reduction of accidents in traction networks

^{1,4,5}S. Toraighyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

²JSC «MC SEZ HimPark Taraz»,

Shu, 081000, Republic of Kazakhstan;

³JSC «KazTransGas»,

Astana, 010000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 17.08.18.

Мақалада қалалық электрлендірілген көлік желілерін қорғаудың жылдамдығы мен селективті мәселелерінің өзектілігі көрсетілген. Қорғаныстың дұрыс жұмыс істемеу жағдайлары және олардың істен шыққан жағдайлары көрсетіледі. Қысқа тұйықталудың бірнеше белгілеріне қарсы қорғауды құру ұсынылады. Дамыған

қорғаныс қысқа тұйықталу токтарының тартқыш қосалқы станциялардың жанында, сондай-ақ қашықтағы нүктелерде сенімді және іріктеп алуы мүмкін. Бұл қорғаныс – көппараметрлік деп аталады. Көппараметрлік қорғаныстың арасындағы негізгі айырмашылық, тарту желісіндегі өтпелі кезеңнің бірнеше параметрлерін бір мезгілде және синхронды бақылау мүмкіндігі. Жұмыс барысында оларды салыстыру және тарту желінің шынайы жұмыс режимдеріне сәйкес келетін белгілі бір алгоритм бойынша әрекет ету.

The article shows the relevance of the issues of speed and selectivity of protection of urban electrified transport networks. Cases of insufficient correct operation of protection and cases of its failure are specified. It is proposed to carry out the construction of protection on several grounds of short circuit. The developed protection will be able to reliably and selectively disable short-circuit currents near traction substations, as well as at remote points. This protection is called – multiparameter. The main difference between multiparameter protection from existing protections, the ability to simultaneously and synchronously monitor the values of several parameters of transients in the traction network. In the process of comparing them and act on a certain algorithm corresponding to the real modes of the traction network.

ГРНТИ 44.29.01

**В. П. Марковский¹, О. Г. Потапенко², А. Б. Кайдар³,
М. Б. Кайдар⁴, А. П. Кислов⁵, Б. К. Шапкенов⁶**

¹к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²м.т.т., гл. менеджер, АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз», г. Шу, 081000, Республика Казахстан;

³менеджер, АО «КазТрансГаз», г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

⁴м-т, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: ¹wadim54@mail.ru; ²vtip_psu <vtip_psu@mail.ru>; ³argin_intel@mail.ru;

⁴m.kaidar@amangeldygas.kz; ⁵kislovpsu@mail.ru; ⁶argin_intel@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ ТЕХНОЛОГИИ LTE 4G

В статье рассмотрена возможность создания быстросействующей локальной корпоративной сети для использования передачи данных между пользователями, обмена информацией, качественной мобильной связи и телеизображений. В статье приводятся схема подключения радиоканала, зависимость $P_{вх}$ от времени t , зависимость $P_{вых}$ от времени t , зависимость количества полученных пакетов на входе от времени t . Экспериментальная оценка технических характеристик созданной мультисервисной сети технологии LTE 4G показала, что мощность приема сигнала на конечном устройстве ниже, чем на приемном. Однако, данный факт никак не влияет на количество полученных пакетов, то есть услуга работает без прерываний и перебоев. Следовательно, технология LTE 4G позволяет не только предоставить доступ в Интернет одному устройству, но и создать целую сеть с одной точкой доступа. Созданная локальная мультисервисная сеть обеспечивает защищенный высокоскоростной канал связи и передачи данных.

Ключевые слова: мультисервисные сети, сервисы управления, беспроводная локальная Wi-Fi сеть, беспроводные точки доступа, маршрутизация и коммутация, компоненты центров обработки данных

ВВЕДЕНИЕ

В существующей ситуации на рынке инфокоммуникационных услуг сети перегружены: они переполнены многочисленными интерфейсами клиентов, сетевыми слоями и контролируются слишком большим числом систем управления. Более того, каждая служба стремится создать свою собственную сеть, вызывая эксплуатационные расходы по каждой службе, что не способствует общему успеху и приводит к созданию сложной сети с тонкими слоями и низкой экономичностью. При эволюции к прозрачной сети главной задачей является упрощение сети – это требование рынка и технологии. Большие эксплуатационные затраты подталкивают операторов к поиску решений, упрощающих функционирование, при сохранении возможности создания новых служб и обеспечении стабильности существующих источников доходов, подобных речевым службам.

Указанные нюансы и проблемы, а также возрастающая конкуренция требует от компаний повышения эффективности бизнеса и гибкости управления, что предполагает следующие действия: создание единой информационной среды предприятия, формирование распределенных прозрачных и гибких мультисервисных корпоративных сетей, оптимизация управления ИТ-инфраструктурой, использование современных сервисов управления вызовами, предоставление мультисервисных услуг, управление услугами в реальном времени, поддержка мобильных пользователей, мониторинг качества предоставляемых услуг и работы сетевого оборудования.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Благодаря короткому времени отклика (менее 50 мс), LTE-интернет намного удобнее, используемого сейчас 3G., и по ощущениям уже мало отличается от кабельного соединения. По наблюдениям аналитиков, внедрение стандарта LTE позволит операторам снизить себестоимость услуг передачи данных в 6 раз по сравнению с 3G. В результате стоимость мобильного интернета для конечных пользователей снизится. К тому же LTE предоставляет расширенные технические возможности для предоставления мультимедийных услуг, например, качественного мобильного телевидения, поэтому внедрение этих сервисов также позволит операторам получить источник для дополнительного заработка. Однако при этом возможно падение прибыли от голосовой связи, которая свободно будет осуществляться через интернет телефонию. Иначе говоря, повышается скорость передачи данных и, соответственно, повышается качество услуг, что в свою очередь, способствует распространению современных мультимедийных сервисов (социальные сети, он-лайн и

сетевые игры, различные интерактивные приложения, видеозвонки, видеоконференции и др.).

В LTE-сети можно будет находиться не только с помощью мобильного телефона, но также с помощью компьютера, нетбука, ноутбука, камеры, телевизора, смартфона, планшета и других устройств, ориентированных на мобильный широкополосный доступ (ШПД).

На данный момент АО «Казахтелеком» в сотрудничестве с АО «Алтел» проводят тестирование технологии LTE 4G. В данной статье будет рассмотрена возможность работы оборудования не только в режиме передачи данных, но и передачи видео и голоса.

Для исследования данных режимов была создана локальная сеть с тремя пользователями. Каждый из них использовал одну из услуг: Интернет, IP-телевидение и IP-телефонию. Для проведения эксперимента необходимо следующее оборудование:

- Беспроводной роутер Huawei E5776;
- Ноутбук Lenovo G570;
- Планшет Samsung Galaxy Tab 3;
- IP-телефон Escence WS220-N.

Характеристики этих устройств следующие.

Беспроводной роутер Huawei E5776.

Модель Huawei E5776 бывает в нескольких модификациях, которые могут отличаться поддерживаемыми диапазонами сотового модуля.

Использованная модификация роутера поддерживает работу в сетях 2G (GSM 850, 900, 1800, 1900 МГц), 3G (UMTS 900, 2100 МГц), 4G (LTE FDD 1800/2600 МГц, TDD 2300 МГц) с поддержкой технологий GPRS, EDGE, HSPA, HSPA+, DC-HSPA+ и LTE Cat4 FDD/TDD. При этом максимальная скорость получения данных для 3G составляет 43,2 Мбит/с, а для 4G – 150 Мбит/с (FDD). У использованного роутера есть совместимость с существующими отечественными сетями LTE в диапазоне 7.

Блокировки на оператора в данной модели нет, можно использовать SIM-карты любого провайдера. Персонал предприятия соединяется с роутером по Wi-Fi 802.11b/g/n, который работает в диапазоне 2,4 ГГц с максимальной скоростью подключения 300 Мбит/с.

С персональными компьютерами и ноутбуками можно использовать также проводное подключение через порт Micro-USB, которое реализует режим работы сетевой карты (NDIS). Поддержка драйверами есть для операционных систем Windows от XP SP3 до 8 и Mac OS 10.5-10.8. При работе по Wi-Fi, конечно, не требуются никакие драйвера, а совместимость не зависит от операционной системы на клиенте.

Этот же порт USB используется для зарядки встроенной несъемной батареи, которая, по данным производителя, имеет внушительную емкость 3000 мА·ч. В спецификациях указана длительность работы в 10 часов и нахождение в режиме ожидания до 500 часов.

На роутере есть слот для карт памяти microSD. Доступ к данным обеспечивается через браузер или в режиме USB-накопителя при подключении по кабелю.

Тестирование проводилось с прошивкой версии 21.202.19.01.778. Обновление возможно в полуавтоматическом режиме через интернет.

Начало работы

Для работы с роутером как и у других аналогичных устройств, необходим следующий алгоритм = устанавливаете SIM-карту (формата Mini-SIM), заряжаете батарею или подключаете блок питания, включаете питание. Через 20 секунд можно проверить статус соединения с сетью провайдера и в случае успеха, подключать беспроводных клиентов к защищенной сети роутера с использованием WPS или вводом пароля (он индивидуальный для каждого устройства и указан на дне корпуса). Отметим, что по спецификациям роутер поддерживает работу до 10 клиентов.

Для оконечных устройств можно выбрать любые с поддержкой сети Wi-Fi.

Для тестирования технологии LTE 4G кроме роутера был использован имеющийся на кафедре ноутбук Lenovo G570 - это доступный ноутбук с производительностью дорогого аппарата. Он оснащен процессором Intel Core второго поколения и имеет программу сертификации Enhanced Experience для операционной системы Windows 7. Одним из ключевых достоинств продуктов Lenovo с сертификатом Enhanced Experience является тонкая настройка производительности системы для достижения максимальной эффективности.

Этот ноутбук может быть укомплектован процессорами Intel Core i3/i5/i7 второго поколения, поставляться с операционными системами Windows 7 Professional, Windows 7 Home Basic, Windows 7 Home Premium и иметь до 8 Гб оперативной памяти DDR3. Информация сможет храниться на жестких дисках, объемом 250 Гб/320 Гб/500 Гб/640 Гб/750 Гб (скорость вращения шпинделя 5400 об/мин) или 320 Гб/500 Гб (скорость вращения шпинделя 7200 об/мин).

Так, модель Lenovo G570 (59064763) оборудована процессором Intel Core i3-2310M с частотой 2.1 ГГц. Это двухъядерный CPU, основанный на архитектуре Sandy Bridge. Он поддерживает технологию многопоточности Hyperthreading, имеет 3 Мб кэш-памяти третьего уровня.

Новый i3-2310M оснащается встроенной графической картой Intel HD Graphics 3000. Этот адаптер быстрее, чем Intel HD Graphics, встроенный в

чипы Arrandale. Кроме того, процессор имеет улучшенный двухканальный контроллер памяти DDR3.

Графикой в ноутбуке занимается дискретная видеокарта AMD Radeon HD 6370M с объемом видеопамати 1 Гб. Адаптер поддерживает DirectX 11, Shader 5.0 и оснащается видеодекодером UVD 2.2.

В данной комплектации предусмотрено 3072 Мб оперативной памяти DDR3. Впрочем, этот объем можно увеличить до 8 Гб. Информация будет храниться на жестком диске, емкостью 320 Гб (5400 об/мин).

IP-телефон Escence WS220-N, открывающий новые возможности по использованию VoIP, недоступные ранее в стационарных IP-телефонах при сравнительно небольшой стоимости телефона такого класса.

Аппарат идентичен популярной модели серии корпоративных телефонов Escence ES220, но имеет ключевую особенность – наличие беспроводного сетевого интерфейса IEEE 802.11 b/g/n.

Подключение телефона к сети по Wi-Fi существенно повышает гибкость подключения – увеличивается мобильность и простота развертывания телефонии. Используя беспроводные телефоны легко организовать рабочее место без проводов, можно привести массу примеров, где подключение телефонов и рабочих мест по беспроводной сети является если не единственным выходом, то крайне желательным вариантом.

Например, строительство локальной вычислительной сети (ЛВС) невозможно или нежелательно, по экономическим соображениям или уже существует локальная сеть. Так же хорошим примером является необходимость в высокой мобильности и скорости развертывания сети до рабочего состояния. Так же, беспроводное подключение рабочего места может быть, кстати, по эстетическим соображениям, например, минимум проводов и предметов на рабочем месте. При проведении мероприятий ограниченных по времени проще, быстрее и удобнее развернуть беспроводную сеть. Если сотрудники часто переезжают из офиса в офис, перевозить «сеть с собой» так же просто используя беспроводные телефоны.

Все более распространенным явлением становится работа на дому: многим для полноценной работы достаточно ноутбука и IP телефона, подключенного к сети. Тут-то и возникает проблема: если все ноутбуки давно подключаются по Wi-Fi, то необходимость тянуть провод от роутера, висящего в прихожей под потолком, до кухни, становится проблемой. Тут-то и выручает стационарный Wi-Fi IP телефон.

Конечно, на рынке существуют беспроводные решения – VoIP-DECT телефоны, но они менее удобны для работы на стационарном рабочем месте, и предназначены для сотрудников которые большую часть времени перемещаются, например, по территории предприятия.

Используя Wi-Fi IP-телефон, к сети можно подключить любой компьютер, без прокладки кабелей на рабочее место.

Стационарное рабочее место – на таком месте компьютер (десктоп или ноутбук) не имеет беспроводной интерфейс (Wi-Fi адаптер), тогда сетевая кабель Ethernet подключается к компьютеру, с другой стороны в PC порт беспроводного IP телефона, далее телефон подключается по Wi-Fi к маршрутизатору или точке доступа.

Мобильное рабочее место – все устройства на таком месте имеют беспроводные интерфейсы: компьютер (десктоп или ноутбук) и беспроводной IP телефон подключаются по Wi-Fi к маршрутизатору или точке доступа.

В качестве IP-АТС может быть использована или собственная АТС или сервис, предоставляемый провайдером [1, с. 106].

IP-АТС компании - программная или программно-аппаратная платформа находящаяся в офисе компании (например, Asterisk, 3CX и т.д.).

Облачная IP-АТС - платформа, находящаяся у сервис-провайдера.

Телефон Escene WS220-N обладает широким набором дополнительных функций. Линейка Escene WS220-N включает две модели – базовую и продвинутую, но их объединяют схожие черты – они отвечают высоким требованиям и обладают всеми необходимыми функциями IP телефонов корпоративного уровня.

Использованный в исследованиях телефон Escene WS220-N был базовой модели и ориентирован на корпоративных потребителей.

К роутеру подключим ноутбук для замера мощности сигнала [2]. На каждом из оконечных устройств установим программу CommView (анализатор сигнала беспроводных сетей), на телефоне установить программу не получится, поэтому качество принимаемого сигнала будем проверять по отсутствию помех и прерываний разговора. Каждый пользователь использует свой тип услуги. Замерим мощность сигнала, количество полученных пакетов на каждом устройстве.

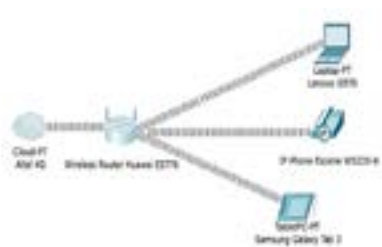


Рисунок 1 – Схема подключения радиоканала



Рисунок 2 – Зависимость Pвх от времени t

При обработке данных получены следующие графики (рисунок 2–6):



Рисунок 3 – Зависимость Pвых от времени t

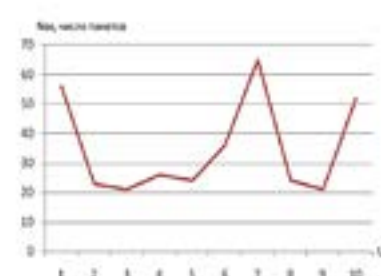


Рисунок 4 – Зависимость количества полученных пакетов на входе от времени t

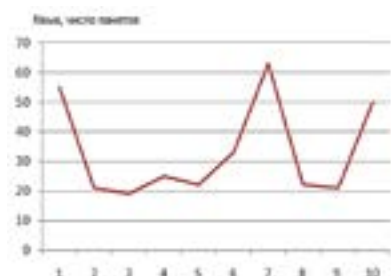


Рисунок 5 – Зависимость количества полученных пакетов на выходе от времени t

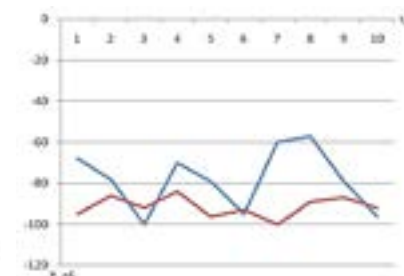


Рисунок 6 – Сравнение входной и выходной мощности в момент времени t

ВЫВОДЫ

По приведенным выше графикам, можно сделать вывод, что несмотря на то, что мощность приема сигнала на оконечном устройстве ниже, чем на приемном, данный факт никак не влияет на количество полученных пакетов, то есть услуга работает без прерываний и перебоев. Следовательно, технология LTE 4G позволяет не только предоставить доступ в Интернет одному устройству, но и создать целую сеть с одной точкой доступа. Данный факт позволит пользователям экономить свое время и деньги, а также предоставит высокоскоростной доступ к мультисервисным сетям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Потапенко, О. Г., Полякова, Л. А., Пудич, Н. Н.** Автоматизация диспетчеризации производственных процессов промышленных предприятий. MES – системы. / Вестник ПГУ. – № 4. – 2010. 106.

2 **Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Марковский, В. П., Акимжанов, Т. Б., Нарынбаев, Д. С., Исабаева, С. А.** Микропроцессорные защиты от аварийных режимов распределительных сетей 241 252 / Вестник ПГУ, ISSN: 1811-1858. Серия энергетическая. – № 4. – 2016.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

В. П. Марковский¹, О. Г. Потапенко², А. Б. Кайдар³, М. Б. Кайдар⁴, А. П. Кислов⁵, Б. К. Шапкенов⁶

4G LTE технологиясының мультисервистік желісінің техникалық сипаттамаларын эксперименттік бағалау

^{1,2,5,6}С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;
³«Тараз химиялық паркі АЭА» БК» АҚ, Шу қ., 081000, Қазақстан Республикасы;
⁴«КазТрансГаз» АҚ, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы.
 Материал 17.08.18 баспаға түсті.

V. P. Markovsky¹, O. G. Potapenko², A. B. Kaidar³, M. B. Kaidar⁴, A. P. Kislov⁵, B. K. Shapkenov⁶

Experimental evaluation of technical characteristics of multiservice network of LTE 4G technology

^{1,2,5,6}S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;
³JSC «MC SEZ HimPark Taraz», Shu, 081000, Republic of Kazakhstan;
⁴JSC «KazTransGas», Astana, 010000, Republic of Kazakhstan.
 Material received on 17.08.18.

Мақала пайдаланушылар арасында ақпарат алмасуды, жоғары сапалы ұялы байланыс пен телевизиялық бейнелерді пайдалану үшін жоғары жылдамдықты жергілікті корпоративтік желіні құру мүмкіндігін қарастырады. Мақалада радио арнасын

қосудың схемасы, t уақыттың $R_{\text{вх}}$ тәуелділігі, t уақыттың $R_{\text{вых}}$ тәуелділігі, қабылданған пакеттердің санын t уақытына кіргенде тәуелділігі қарастырылған. 4G LTE технологиясының жаңадан дамыған мультисервистік желісінің техникалық сипаттамаларын эксперименттік бағалау терминалдағы сигналдың қабылдау қуаты қабылдағышқа қарағанда төмен екенін көрсетті. Дегенмен, бұл факт алынған пакеттердің санына әсер етпейді, яғни қызмет үзіліссіз жұмыс істейді. Демек, 4G LTE технологиясы бір құрылғыға Интернет желісіне кіруді қамтамасыз етумен қатар, бірыңғай кіру нүктесі бар бүкіл желіні құруға мүмкіндік береді. Жасалған жергілікті мультисервистік желі қорғалған жоғары жылдамдықтағы байланыс арнасын және деректерді беруді қамтамасыз етеді.

The article considers the possibility of creating a high-speed local corporate network for the use of data transfer between users, information exchange, high-quality mobile communication and TV images. The article presents the scheme of connection of the radio channel, the dependence of the RVC on time t , the dependence of the time t , the dependence of the number of packets received at the input on time t . The experimental evaluation of the technical characteristics of the multiservice network of LTE 4G technology has shown that the signal reception power on the terminal device is lower than on the receiving device. However, this fact does not affect the number of received packages, that is, the service works without interruptions. Therefore, LTE 4G technology allows not only to provide Internet access to one device, but also to create a network with a single access point. The created local multiservice network provides a secure high-speed communication and data transmission channel.

**В. П. Марковский¹, А. Б. Кайдар², М. Б. Кайдар³,
Б. К. Шапкенов⁴, А. П. Кислов⁵, С. Ж. Кулумбенов⁶**

¹к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²м.т.т., гл. менеджер, АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз», г. Шу, 081000, Республика Казахстан;

³менеджер, АО «КазТрансГаз», г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

⁴к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁵к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁶м-т, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: ¹wadim54@mail.ru; ²argin_intel@mail.ru; ³m.kaidar@amangeldygas.kz; ⁴argin_intel@mail.ru; ⁵kislovpsu@mail.ru

ВЕКТОРНОЕ СОПРЯЖЕНИЕ РАЗНОХАРАКТЕРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В статье отмечены основные недостатки преобразователей, применяемых в автономных системах электроснабжения (СЭС). Выявлена целесообразность разработки универсального устройства для подключения к потребителю разнохарактерных источников энергии, что позволит решить проблемы существующих автономных СЭС с ветродизельной электростанцией (ВДЭС). Предложены технические решения по подключению энергоустановок ВДЭС в автономной СЭС. Для повышения эффективности применения ВДЭС рекомендуется подключать источники питания через универсальный преобразователь напряжения (УПН). Рекомендовано применение модифицированного инвертора, позволяющего использовать источники энергии как переменного, так и постоянного тока с широким диапазоном номинального напряжения без конструктивного изменения входных цепей. Разработан алгоритм работы УПН в составе автономной СЭС с ВДЭС, учитывающий параметры выходного напряжения подключаемых источников энергии и требования к обеспечению нормального режима работы ВДЭС.

Ключевые слова: автономные системы электроснабжения, энергоудаленные потребители, ветродизельные электростанции, универсальный преобразователь напряжения

ВВЕДЕНИЕ

Северо-восточные и ряд южных районов Казахстана обладают высоким ветровым потенциалом, что позволяет покрыть потребности электроэнергии и повысить уровень надежности электроснабжения энергоудаленных потребителей за счет комбинированного использования традиционных источников энергии с экологически чистыми ветроэнергетическими установками (ВЭУ). Согласно Государственной программе индустриально-инновационного развития Республики Казахстана на 2015–2019 годы возрастающее потребление электроэнергии в новых секторах экономики (ВИЭ, новый транспорт), а также сложность замещения альтернативной продукцией (кроме сооружения ветро-дизельных электростанций (ВДЭС)) позволит сэкономить до 10,5 тыс. тонн дизельного топлива в год, повысить надежность электроснабжения автономных потребителей и сократить выбросы вредных веществ на 15 % по отношению к 1992 г. [1, с. 128]. Поэтому повышение эффективности функционирования систем электроснабжения (СЭС) с ВДЭС является актуальной проблемой современных исследований.

Учитывая, что график выработки электроэнергии ветроэлектрическими станциями является стохастическим [2, с. 26] необходимо обеспечить нормальные режимы гарантированного электроснабжения автономных потребителей.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Несмотря на растущий интерес к ВДЭС, опыт эксплуатации таких систем в Казахстане весьма ограничен, а существующие ВДЭС имеют невысокий КПД, отличаются сложностью конструкции и значительными затратами на эксплуатацию. Эффективного решения сопряжения ВЭУ, дизель-генераторной установки (ДГУ), накопителей электрической энергии и нагрузки пока не найдено. Все применяемые на практике системы сопряжения имеют недостатки (ограничение по мощности, необходимость во внешнем контроллере, отсутствие возможности масштабирования системы и др.) и разрабатываются под конкретные источники энергии. Большое разнообразие типов и параметров элементов ВДЭС усложняет выбор оптимальной структуры сопряжения. Разработка гибкого устройства с универсальным входом для подключения источников как переменного, так и постоянного напряжения, обеспечивающего на выходе напряжение, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 32144-2013[23], позволило бы

повысить эффективность автономных СЭС с ВДЭС. Вместе с тем, пока не исследовано влияние параметров автономной СЭС с ВДЭС на режимы ее работы. Совершенствование схемных решений сопряжения источников с нагрузкой требует проведения дополнительных исследований режимов работы автономной СЭС с ВДЭС, система управления которой должна поддерживать нормальные режимы ее работы.

Под нормальным режимом работы СЭС понимают режим, при котором обеспечивается снабжение электрической энергией всех приемников при поддержании ее качества в установленных пределах [3, с. 134]. Если система устойчива, то после какого-либо (большого или малого) нарушения (иначе называемого возмущением) нормального рабочего режима, она способна восстановить этот режим или режим, практически близкий к нему [4, с. 149]. Возмущения системы (изменение скорости ветра, включение/отключение части нагрузки и т.п.) ведут к изменению режима работы автономной СЭС с ВДЭС, что может повлечь нарушение нормального режима работы системы. Если после кратковременного возмущения система сохраняет свой режим работы, то она устойчива. Такие режимы составляют область нормальных режимов. Но если система не в состоянии самостоятельно восстановить нормальный режим работы – она не устойчива. Такие режимы работы составляют область ненормальных режимов [1, с.149].

Надежность работы системы – вероятность появления аварийной ситуации в подмножестве ненормальных режимов. Возможны разнообразные режимы работы автономной СЭС с ВДЭС (параллельная работа ВЭУ и ДГУ, в работе только ВЭУ и т.д.), назовем их *i*-ми режимами. Возмущения системы, накладываемые на *i*-е режимы, могут привести к всевозможным результатам. Предположим, что в момент времени *t*₁ произошло возмущение (рисунок 1). При воздействии на *i*-ый режим система переходит в *j*-ый режим, в котором и наблюдается ее состояние.

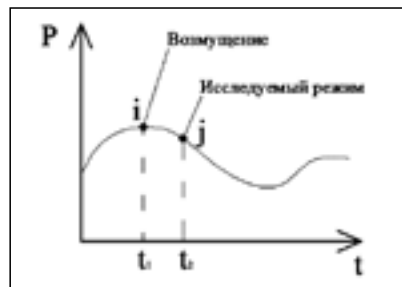


Рисунок 1 – Пример графика выдаваемой мощности ВДЭС

Необходимо выделить все *i*-ые режимы, при которых происходит нарушение режима работы в *j*-ом режиме в подмножество ненормальных режимов. Остальные *i*-ые режимы относятся к подмножеству нормальных (рисунок 2).



Рисунок 2 – Алгоритм анализа воздействия возмущений на работу автономной СЭС с ВДЭС

Описанным способом можно произвести подробный анализ всех режимов по подмножествам. Следовательно, после определения характера *j*-ого режима можно будет получить полноценную картину развития событий. Выяснение причин нарушения режима работы приведет к возможности классифицировать возмущения по характеру возникновения их в системе. Это позволит сделать выводы о том, какой режим является более критическим [1, 2].

Предлагаемый подход к решению задачи определения нормальных режимов работы системы основан на анализе большого числа реакций исследуемой системы на возмущения. Для решения этой задачи было необходимо разработать имитационную модель автономной СЭС с ВДЭС [3], позволяющую проводить исследования режимов работы системы при различных исходных параметрах и внешних возмущениях [1].

Выявление возмущений, приводящих к нарушению режима работы, позволит разработать ряд мероприятий, направленных на уменьшение подмножества ненормальных режимов, и провести технико-экономическую оценку затрат на данные мероприятия.

Выбор алгоритма управления ВДЭС определяется набором выполняемых функций универсального преобразователя напряжения (УПН). Разработан алгоритм работы УПН (рисунок 2) учитывающий параметры выходного напряжения подключаемых источников энергии и требования к статической устойчивости.

В общем виде алгоритм работы УПН можно представить следующим:

- определение и подключение параметров источника питания;
- активно адаптивная настройка режима работы основных узлов УПН;
- стабилизация выходных параметров напряжения (сеть потребителей);
- обеспечение нормального режим работы потребителя.



Рисунок 3 – Структурная схема универсального преобразователя напряжения

Включение устройства инициируется пользователем, в дальнейшем система выполняет все функции автоматически. После команды на включение устройство определяет тип подключенного источника питания (постоянный или переменный ток). Выполняется тестирование параметров источника питания с целью определения его пригодности для питания устройства. В случае неудовлетворительных результатов выдается соответствующее сообщение на предусмотренные средства индикации.

По результатам тестирования с помощью внутренних цепей коммутации модифицированный инвертор переходит в режим конвертора или выпрямителя напряжения.

Стабильное напряжение на выходе УПН поддерживается за счет емкостного накопителя (ЕН).

Поэтому следующей процедурой является определение текущего состояния ЕН. Если он разряжен, выполняется заряд через модифицированный инвертор (инвертор 1). После заряда ЕН до номинального напряжения происходит запуск инвертора напряжения 2 (инвертор 2) и подключение автономных потребителей.

В течение всего периода функционирования контролируется возникновение аварийных ситуаций (сверхтоки, перенапряжения). При их отсутствии система переходит к основному циклу работы. При возникновении аварийных ситуаций происходит блокирование импульсов управления на силовые ключи. Если это не приводит к прерыванию аварийного процесса, устройство отключается от источников и нагрузки. Если блокировка импульсов управления прерывает аварийный процесс, то выполняется пауза на две секунды, после чего управление возобновляется. Таким образом, выполняется автоматическое повторное включение. Если аварийная ситуация возобновляется, то происходит блокировка импульсов управления, и устройство автоматическими выключателями QF1 и QF2 отключается от источников и нагрузки до устранения причин аварии.

В основном цикле работы устройства постоянно контролируется состояние ЕН. В случае отклонения от нормы происходит программная корректировка режима работы УПН. Предусмотрена предупредительная сигнализация о состоянии ЕН. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 4.

Одна из основных функций состоит в том, что в основном цикле контролируется и поддерживается нормальный режим работы системы. Для определения нормального режима используются коэффициенты баланса о активной и реактивной мощности. УПН функционирует в нормальном режиме, если они равны 1,0. В случае нарушения нормального режима, определяется вид нарушенного баланса – активной или реактивной мощности.

В зависимости от типа и количества энергоустановок ВДЭС в автономной СЭС и наличия накопителей энергии, система управления по показаниям датчиков выдает команды на коммутации АБ (для контроля уровня заряда АБ необходимо ее подключать через собственный контроллер заряда), балластной нагрузки, дополнительного источника питания (при наличии). Этот процесс поддерживается предупредительной сигнализацией, отражающей, как отклонение от параметров режима от нормы, так и возврат системы к нормальному режиму.

В случае нарушения баланса реактивной мощности происходит программная корректировка режима работы УПН. За счет применения векторной системы управления, УПН позволяет выработать (компенсировать) необходимую величину реактивной мощности в сеть нагрузки. Программная корректировка режима работы инверторов УПН происходит в условиях синусоидальной ШИМ-модуляции с учетом сигналов датчиков обратных связей по току и напряжению до возврата системы в исходное состояние.

Если нормального режима работы по тем или иным причинам добиться невозможно, то система управления принимает решение об отключении менее ответственных потребителей. Затем производится повторная оценка режима. При удовлетворительных результатах продолжается работа устройства по основному циклу. При неудовлетворительных – происходит дальнейшая корректировка режима.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ



Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма работы УПН, учитывающего требования обеспечения нормального режима работы автономной СЭС с ВДЭС

ВЫВОДЫ

1 Отмечены основные недостатки преобразователей, применяемых в автономных СЭС. Разработка универсального устройства для подключения к потребителю разнохарактерных источников энергии позволит решить проблемы существующих автономных СЭС с ВДЭС.

2 Предложены технические решения по подключению энергоустановок ВДЭС в автономной СЭС. Для повышения эффективности применения ВДЭС рекомендуется подключать источники питания через УПН.

3 Применение модифицированного инвертора, который позволяет использовать источники энергии как переменного, так и постоянного тока с широким диапазоном номинального напряжения без конструктивного изменения входных цепей.

4 Разработан алгоритм работы УПН в составе автономной СЭС с ВДЭС, учитывающий параметры выходного напряжения подключаемых источников энергии и требования к обеспечению нормального режима работы ВДЭС.

1 Шапкенов, Б. К. Ветро-солнечные электрические станции / Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б. // Учеб. пособие. – Кереку, 2016. – С. 168. – ISBN 978-601-238-641-7.

2 Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б. Электроснабжение на основе возобновляемых источников энергии: учебное пособие / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, М. Б. Кайдар. – Алматы : Эверо, 2016. – 192 с. – ISBN 978-601-310-762-5

3 Кайдар, А. Б., Марковский, В. П., Кислов, А. П., Шапкенов, Б. К., Кайдар, М. Б. Особенности двухроторных ветроустановок и места их расположения на территории Казахстана. 6-я Международной научно-практической конференции «Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии», проводимая в рамках специализированного форума «Expo Build Russia» 18–20 апреля 2017 года, МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО, Екатеринбург. – С. 134–145.

4 Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Шапкенов, Б. К. Компьютерное моделирование ветроустановки. Международной научно-практической конференции «Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии», проводимая в рамках специализированного форума «Expo Build Russia» 18–20 апреля 2017 года, МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО, Екатеринбург. – С. 146–152.

5 Кислов, А. П., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П., Кайдар, М. Б., Кайдар, А. Б. Вопросы сопряжения автономных ветро-дизельных электростанций с нагрузкой, с. 30-34 / Актуальные проблемы автоматизации и энергосбережения в ТЭК России: материалы Всероссийского с международным участием научно-практического семинара (Нижевартовск, 6 апреля 2018 года) / отв. ред. А. Ю. Ковалев. Нижевартовск: Изд-во Нижеварт. гос. ун-та, 2018. – 186 с.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

*В. П. Марковский¹, А. Б. Кайдар², М. Б. Кайдар³, Б. К. Шапкенов⁴,
А. П. Кислов⁵, С.Ж. Кулумбенов⁶*

Түрлі сипаттағы энергия көздерінің векторлы түйіндесуі

^{1,4,5,6}С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;
²«Тараз химиялық паркі АЭА» БК» АҚ,
Шу қ., 081000, Қазақстан Республикасы;
³АО «ҚазТрансГаз» АҚ,
Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы.
Материал 17.08.18 баспаға түсті.

*V. P. Markovsky¹, A. B. Kaidar², M. B. Kaidar³, B. K. Shapkenov⁴,
A. P. Kislov⁵, S. Zh. Kulumbenov⁶*

Vector coupling of different energy sources

^{1,4,5,6}S. Toraihyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;
²JSC «MC SEZ HimPark Taraz»,
Shu, 081000, Republic of Kazakhstan;
³JSC «KazTransGas»,
Astana, 010000, Republic of Kazakhstan.
Material received on 17.08.18.

Мақалада автономды энергиямен жабдықтау жүйелерінде (ЭЖЖ) қолданылатын түрлендіргіштердің негізгі жетіспеушілігі атап көрсетілген. Әр түрлі энергия көздерінің тұтынушысына қосылу үшін әмбебап құрылғыны дамытудың орындылығы анықталды, қазіргі кезде автономды ЭЖЖ проблемаларын дизельді жел электр станциясы (ДЖЭС) арқылы шешуге болады. ДЖЭС электр станцияларын автономды ЭЖЖ-ге қосу бойынша техникалық шешімдер ұсынылды. ДЖЭС тиімділігін арттыру үшін әмбебап түрлендіргіш кернеу (ӘТК) арқылы қуат көзін жалғау ұсынылады. Кіріс тізбектерінде конструкция өзгеріссіз номиналды кернеудің кең ауқымымен және тұрақты ток көздерін пайдалануға мүмкіндік беретін түрлендірілген түрлендіргішті пайдалану ұсынылады. Қосылған энергия көздерінің шығу кернеуінің параметрлерін және ДЖЭС қалыпты жұмыс режимін қамтамасыз ету талаптарын ескере отырып, ДЖЭС-мен автономды ЭЖЖ бөлігі ретінде жұмысының алгоритмі әзірленді.

The article highlights the main disadvantages of converters used in Autonomous power supply systems (PSS). The expediency of the development of a universal device for connecting different energy sources to the consumer will allow to solve the problems of existing Autonomous PSS with a wind diesel power plant (WDPP). Technical solutions for connection of power plants of WDPP in Autonomous PSS are offered. To improve the efficiency of the power plant it is recommended to connect power sources through a universal voltage converter (UVC). It is recommended to use a modified inverter, which allows to use both AC and DC power sources with a wide range of nominal voltage without constructive changes in the input circuits. The algorithm of work of the UVC in the Autonomous PSS with wind-diesel power stations, taking into account the parameters of the output voltage of the connected energy sources and requirements to ensure normal operation of the wind-diesel power stations.

**В. П. Марковский¹, А. Б. Кайдар², М. Б. Кайдар³,
Б. К. Шапкенов⁴, А. П. Кислов⁵, С. Ж. Кулумбенов⁶**

¹к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²м.т.т., гл. менеджер, АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз», г. Шу, 081000, Республика Казахстан;

³менеджер, АО «КазТрансГаз», г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

⁴к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁵к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁶м-т, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: ¹wadim54@mail.ru; ²argin_intel@mail.ru; ³m.kaidar@amangeldygas.kz;

⁴argin_intel@mail.ru; ⁵kislovpsu@mail.ru

ПРИЧИНЫ НАРУШЕНИЯ НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ВЕТРОВЫМИ УСТАНОВКАМИ

В статье рассмотрены вопросы нарушения нормальных режимов ветроустановок, работающих на автономную систему электроснабжения. Авторами предложено выполнять оценку режима системы по пяти критериям:

1 Устойчивость работы ветроэнергетическими установками (ВЭУ);

2 Отсутствие асинхронного хода синхронного генератора;

3 Отсутствие обратного потока мощности в дизель-генераторных установках (ДГУ);

4 Отсутствие уравнительных токов в системе;

5 Сохранение устойчивости узла нагрузки.

Предложенные критерии позволяют определить нормальный и ненормальный режимы работы автономной СЭС с ВДЭС. Для нормальной работы автономной СЭС с ВДЭС должны соблюдаться все указанные условия функционирования. При нарушении хотя бы одного критерия режим является ненормальным.

Ключевые слова: автономные системы электроснабжения, энергоудаленные потребители, баланс мощностей, ветродизельные электростанции, универсальный преобразователь напряжения

ВВЕДЕНИЕ

Многолетний опыт эксплуатации показывает, что поддержание баланса мощностей является обязательным условием нормальной работы автономных систем электроснабжения (СЭС) с ветро-дизельной электростанцией (ВДЭС) [1, с. 102]. Однако при этом не учитываются электромеханические характеристики и особенности взаимодействия отдельных элементов в системе [2, с. 77].

Применение возобновляемых источников энергии в составе автономных энергетических систем позволяет снизить топливную составляющую в себестоимости вырабатываемой электроэнергии, что существенно повышает их технико-экономическую эффективность. В настоящее время в мире применяются различные варианты построения гибридных электростанций на базе ВЭС, однако оптимальная структура системы не определена. Производительность комбинированных энергосистем во многом зависит от энергетических и рабочих характеристик входящих в неё установок и их режимов работы. Важной задачей является согласование режимов работы компонентов входящих в состав ветро-дизельных электростанций. Научным исследованиям в области электроснабжения автономных потребителей на базе ВДЭС за последние 10 лет посвящен ряд научно-исследовательских работ казахстанских ученых: академика НАН РК Ершина Ш. А., академика НИА Болотова А. В., д.т.н. Буктукова С. Н., академика ВАНКБ Шапкенова Б. К., к.т.н. Кислова А. П., академика НАН РК Отелбаева М. О., д.т.н. Камбарова М. Н., д.т.н. Байшагирова Х. Ж., д.ф.-м.н. Кусаинова К. К., д.т.н. Говоруна В. Ф., к.т.н. Марковского В. П. и др. и зарубежных авторов: Tomilson Andrew, Memorial University of Newfoundland; Jeffries William Q. Ph.D. University of Massachusetts Amherst; Akarin Suwannarat, Institute of Energy Technology, Aalborg University, Denmark. В работах рассматриваются вопросы: математического моделирования рабочих режимов автономных электроэнергетических систем, алгоритмов работы ВДЭС, оценка экономической эффективности системы, однако существует ряд проблем в данной области, которые до конца не изучены.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для более глубокого изучения причин нарушения нормального режима работы автономных СЭС с ВДЭС предложено выполнять оценку режима системы по пяти критериям [3]:

- 1 устойчивость работы ветроэнергетическими установками (ВЭУ);
- 2 отсутствие асинхронного хода синхронного генератора;
- 3 отсутствие обратного потока мощности в дизель-генераторных установках (ДГУ);
- 4 отсутствие уравнивающих токов в системе;
- 5 сохранение устойчивости узла нагрузки.

Устойчивость работы ВЭУ

Принцип работы ветроэнергетической установки (ВЭУ) основан на преобразовании кинетической энергии ветрового потока в механическую энергию вращения ротора с последующим ее преобразованием в электрическую энергию. Набегающий на лопасти ветровой поток создает крутящий момент на валу двигателя, который приводит во вращение ротор синхронного генератора.

Система статически устойчива, если при малом возмущении результирующий момент стремится вернуть систему в первоначальное положение. Для этого приращение электромагнитного момента генератора должно быть больше изменения механического момента турбины. Условие устойчивости ВЭУ выражается неравенством 1 [4]:

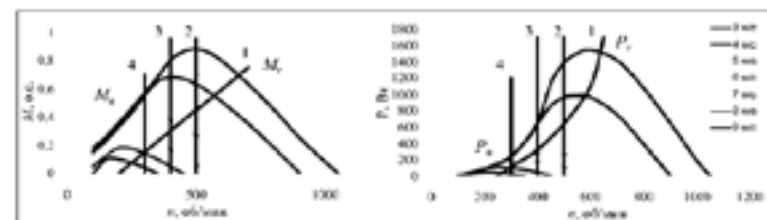
$$\frac{dM_g}{dn} < \frac{dM_r}{dn}, \tag{1}$$

где M_g (M_r) – крутящий момент ветродвигателя (генератора), Н·м;
 n – скорость вращения выходного вала двигателя, об/мин.

Проверка условия (1) осуществляется по мощностным $P_g=f(n)$ и моментным характеристикам $M_g=f(n)$ ветротурбины и генератора, приведенным к скорости вращения n одного и того же вала (например, выходного вала генератора). Они служат для выбора оптимального режима работы двигателя и определения передаточного отношения механической передачи к генератору. Наложение рабочих характеристик генератора на характеристики ветродвигателя определяет рабочие точки ВЭУ (рисунок 1) [5, с. 47–52].

Из приведенного условия устойчивости следует, что для данной ВЭУ при вертикальной характеристике генератора устойчивость сохраняется при различных частотах вращения. Если генератор имеет наклонную характеристику, то при пересечении ее с правыми частями характеристик турбины устойчивость работы также обеспечивается. При наклонной характеристике, пересекающей левые части характеристик турбины, устойчивость будет иметь место только в случае, если характеристика генератора в точках пересечения с характеристиками турбины будет круче последних. На рисунке рабочие точки всех четырех характеристик генератора

являются устойчивыми. Однако если для работы взять генератор с меньшей скоростью вращения и наклонной характеристикой, то работа двигателя может оказаться неустойчивой.



а) моментная характеристика; б) мощностная характеристика
 1 – генератор с переменной частотой вращения;
 2, 3 и 4 – генераторы с постоянной скоростью вращения
 500, 400 и 300 об/мин при разной скорости ветра

Рисунок 1 – Характеристики ВЭУ:

а) моментная характеристика; б) мощностная характеристика

Отсутствие асинхронного хода синхронного генератора

Как правило, в составе дизель генераторной установки (ДГУ) используются бесщеточные синхронные генераторы переменного тока. Нарушением нормальной работы системы является выпадение генератора из синхронизма и переход машины в асинхронный режим, который сопровождается прохождением по обмотке якоря больших токов [5, с. 47–52]. Условием работы синхронного генератора является равенство частот вращения ротора n_2 и результирующего магнитного поля n_1 . Оно определяется выражением [4]:

$$n_1 = n_2. \tag{2}$$

Угловые характеристики синхронного генератора при различных значениях ЭДС приведены на рисунке 2.

Статическая устойчивость синхронной машины – способность сохранять синхронное вращение (2) при изменении внешнего вращающего или тормозного момента $M_{вн}$, приложенного к ее валу [1]. Условие статической устойчивости определяется выражением:

$$\theta < \frac{\pi}{2}, \tag{3}$$

где θ – угол нагрузки, °.

Чем меньше угол нагрузки θ , тем больший запас по устойчивости имеет синхронная машина. При увеличении тока возбуждения уменьшается угол нагрузки, следовательно, увеличивается устойчивость.

Причинами нарушения устойчивости могут служить несоблюдение условия (3) при наличии в сети большой доли активно-емкостной нагрузки [2]. Генератор в этом случае для поддержания стабильного напряжения будет работать в режиме недовозбуждения, т. е. ток возбуждения снизится, а угол θ возрастет. Еще одной причиной может служить снижение скорости ветрового потока, а, следовательно, уменьшение вращающего момента и тока возбуждения.

При нехватке энергии, производимой ВЭУ, возникает необходимость включения ДГУ. При точной синхронизации должно быть осуществлено успешное включение генератора дизельной установки в работающую сеть, при котором генератор после включения не должен выпасть из синхронизма, а бросок тока не должен превышать предельного значения. Условие сохранения устойчивости определяет предельные значения скольжения при включении. В данном случае скольжением является разность угловых скоростей работающего и включаемого генераторов. Значение предельного толчка тока во время включения определяет значение угла сдвига вектора ЭДС за синхронным реактивным сопротивлением относительно вектора напряжения. Величины допустимых скольжения и углов очень малы, при этом из-за практически непрерывной пульсации скорости ветра на валу генератора ВЭУ появляется избыточный момент [5, с. 47–52]. Все эти факторы указывают на то, что метод точной синхронизации весьма затруднителен. Поэтому применяется метод самосинхронизации.

По сравнению с методом точной синхронизации он позволяет расширить пределы допустимых скольжений при включении генератора в сеть и не требует проверки фазы включения. Действующее значение периодической составляющей тока переходного процесса I_d при включении должно удовлетворять условию [2]:

$$I_d = \frac{U_c}{x'_d + x_c} \leq 3.5, \tag{2.4}$$

где U_c – напряжение сети, о.е.;

x'_d – переходное реактивное сопротивление генератора, о.е.;

x_c – реактивное сопротивление связи между генератором и сетью, о.е.

Нахождение предельных значений скольжения и ускорения, которое возникает под воздействием избыточного момента, имеющимся на валу генератора из-за практически непрерывной пульсации скорости ветра, при самосинхронизации является достаточно сложным процессом и требует

использования специальной методики. Во избежание качания ротора и толчка тока, которые могут нарушить устойчивость, рекомендуется производить возбуждение ротора непосредственно после подключения обмотки статора генератора к сети. Возникающий при этом синхронный момент стягивает ротор генератора в синхронизм [4]. Форсировка возбуждения сокращает длительность и глубину посадки напряжения, оказывая благоприятное влияние на характер переходного процесса.

Отсутствие обратного потока мощности в ДГУ

Работа синхронного генератора устойчива при изменении угла нагрузки θ в пределах от 0 до 90° – формула (3). Если угол нагрузки станет меньше нуля $\theta < 0$ то синхронная машина из генераторного перейдет в двигательный режим работы (рисунок 3), что приведет к нарушению электроснабжения потребителя и нормального режима работы системы. В рассматриваемой системе переход ДГУ в двигательный режим возможен при параллельной работе ДГУ и ВЭУ [5].

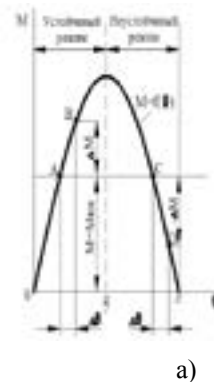


Рисунок 2 – Угловая характеристика синхронного генератора: а) области устойчивых и неустойчивых режимов; б) при различных значениях ЭДС E_0

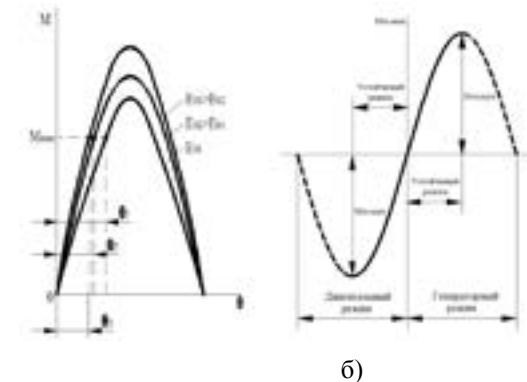


Рисунок 3 – Режимы работы двигателя

В схемах ВДЭС с шиной постоянного тока причиной нарушения устойчивости может служить пробой выпрямительного устройства.

Пробой диодов выпрямителя может произойти вследствие повышения напряжения выше нормы, при перегреве током большой силы, проходящим через них, и при механических повреждениях. В пробитых диодах сопротивление практически равно нулю в обоих направлениях, что ведет к

короткому замыканию фаз обмотки статора и отказу генератора. В результате этого снижается напряжение генератора, а аккумуляторная батарея не заряжается. Она начинает разряжаться через обмотку статора, что вызывает разрушение изоляции обмотки и быстрый разряд батареи. Для того чтобы исключить пробой выпрямителя, необходимо выполнение условия:

$$\frac{U_{обр}}{U_{пр}} < 1, \tag{5}$$

где $U_{обр}$ – обратное напряжение, приложенное к выпрямительному устройству, В; $U_{пр}$ – напряжение пробоя, В.

При нарушении условия (5) происходит пробой полупроводниковых устройств, и возможен переход генератора в двигательный режим.

Отсутствие уравнильных токов в системе

Энергоустановки ВДЭС могут подключаться к автономной СЭС через шину постоянного тока (ШПТ). В этом случае, на выводах каждого из генераторов имеется выпрямитель, а преобразование постоянного тока в переменный ток, необходимый потребителю, производится при помощи инвертора. Эти устройства являются преобразователями напряжения на полупроводниковых элементах. При использовании синхронного генератора на постоянных магнитах, мощность на выходе ВЭУ пропорциональна скорости ветрового потока. Из-за неравномерности графика нагрузки объекта и скорости ветрового потока в течении суток условия работы генераторов и их загрузка различны. Таким образом, при параллельной работе ВЭУ и ДГУ выходные напряжения $U_{в1}$ и $U_{в2}$ также будут различными, что приведет к разности потенциалов ΔU на ШПТ, которая определяется выражением:

$$\Delta U = |U_{в1} - U_{в2}|, \tag{6}$$

где $U_{в1}$ – напряжение на выходе первого выпрямительного устройства, В; $U_{в2}$ – напряжение на выходе второго выпрямительного устройства, В. Под действием разности потенциалов на ШПТ возникнет уравнильный ток $I_{ур}$:

$$I_{ур} = I_{в1} + I_{в2} - I_{инв}, \tag{7}$$

где $I_{в1}$ ($I_{в2}$) – выходной ток с первого (со второго) выпрямительного устройства, А;

$I_{инв}$ – входной ток инвертора, А.

Уравнильный ток создает дополнительные потери энергии, приводит к ошибочному срабатыванию автоматики ВДЭС (подключение балластной нагрузки, неправильной работе блока контроля заряда АБ), дополнительному нагреву ШПТ (который может вывести ее из строя или привести к быстрому

старению). Таким образом, задачей системы управления ВДЭС является предотвращение возникновения уравнильных токов в системе.

Сохранение устойчивости узла нагрузки

В автономных СЭС с ВДЭС мощность электродвигательной нагрузки соизмерима с мощностью источника питания. Снижение напряжения в узле нагрузки может привести к торможению асинхронных двигателей у потребителя, а при снижении до критического значения $U_{кр}$ привести к еще большему снижению напряжения – лавине напряжения [9]. Количественно оценить устойчивость нагрузки позволяет коэффициент запаса по напряжению [4]:

$$K_U = \frac{U_0 - U_{кр}}{U_0} \cdot 100 \%, \tag{8}$$

где U_0 – номинальное напряжение сети, В;

$U_{кр}$ – критическое напряжение, соответствующее границе статической устойчивости системы, В.

Чтобы определить $U_{кр}$ и запас устойчивости нагрузки, необходимо осуществить утяжеление исходного нормального режима. С увеличением коэффициента запаса по напряжению увеличивается устойчивость узла нагрузки.

Практические методы расчетов устойчивости позволяют упростить расчеты без снижения их точности. Наиболее распространенные практические критерии [1, 5]:

$$\frac{d\Delta Q}{dU} < 0, \tag{9}$$

где ΔQ – небаланс в узле между мощностью, вырабатываемой генератором $Q_G(U)$ потребляемой нагрузкой $Q_H(U)$, вар;

U – напряжение узла нагрузки, В.

Небаланс реактивной мощности ΔQ вызывает изменение ЭДС генератора E (В):

$$\frac{dE}{dU} > 0, \tag{10}$$

Выбор критерия (9) или (10) определяется доступностью исходных данных для расчета.

Если расчеты статической устойчивости узла нагрузки ведутся для суммарных статических характеристик $P_{\Sigma}(U)$ и $Q_{\Sigma}(U)$ по практическим критериям, то нарушение устойчивости означает нарушение устойчивости узла целиком, не выявляя факты нарушения устойчивости отдельных

потребителей. Но во многих случаях нарушение устойчивости отдельных потребителей происходит раньше, чем всего узла нагрузки. Для исследования устойчивости какого-либо элемента он должен быть выделен со своими характеристиками [6, с. 148; 7, с. 30–34].

ВЫВОДЫ

Предложенные критерии позволяют определить нормальный и ненормальный режимы работы автономной СЭС с ВДЭС. Для нормальной работы автономной СЭС с ВДЭС должны соблюдаться все указанные условия функционирования. При нарушении хотя бы одного критерия режим является ненормальным.

При соединении энергоустановок на стороне переменного тока, для включения генераторов на параллельную работу требуется соблюдать условия вхождения генераторов в синхронизм. Выход генераторов из синхронизма может привести к нарушению устойчивости системы в целом, что повлечет серьезные последствия.

При подключении синхронного генератора на параллельную работу с другим генератором, необходимо соблюдение четырех условий [5, с. 47–52]:

- 1 равенство напряжений генераторов;
- 2 равенство частот генераторов;
- 3 равенство начальных фаз – равенство углов сдвига между ЭДС каждого генератора и напряжением на шине;
- 4 совпадение порядка чередования фаз.

Если генераторы синхронизированы (т.е. соблюдены все четыре условия), то в системе не возникнет дополнительных толчков тока, и процесс включения генераторов на параллельную работу пройдет спокойно. Но если любое из условий не выполнено, то между генераторами появятся уравнительные токи, которые могут не позволить осуществить параллельную работу генераторов или привести к их выходу из строя.

Соблюдение всех условий при параллельной работе генераторов на холостом ходу обеспечивает устойчивую работу системы. Если включить активно-емкостную нагрузку, то угол сдвига между ЭДС и напряжением будет изменяться в пределах от 0 до 90°, а генераторы будут продолжать устойчиво работать.

Если увеличить возбуждение одного генератора, а, следовательно, и ЭДС этого генератора, то надо уменьшить возбуждение второго генератора, чтобы сохранить требуемое значение напряжения. ЭДС генераторов станут разными, что приведет к появлению между генераторами уравнительного тока, протекающего по их цепи. Таким образом, появляется вероятность, что каждый из генераторов будет работать со своим коэффициентом мощности.

Если потребляемая внешней нагрузкой активная мощность близка к суммарной мощности обоих генераторов, то у перевозбужденного генератора действующий ток превысит номинальный ток генератора, чего допускать нельзя (перегрузка по току). При параллельной работе синхронных генераторов необходимо стремиться к тому, чтобы все генераторы работали с одним и тем же коэффициентом мощности, равным коэффициенту мощности сети.

Если изменится подача топлива в ДГУ или скорость ветрового потока, то изменится вращающий момент первичного двигателя, роторы останутся вращаться с той же синхронной скоростью, но окажутся в разных положениях, что приведет к расхождению по фазе электродвижущих сил генераторов. В их цепи возникнет разность ЭДС, под влиянием которой появится уравнительный ток. Он может повлечь за собой увеличение угла θ до недопустимой величины ($\theta > \pi/2$), что приведет к нарушению устойчивости системы. Важными параметрами в системе являются величина напряжения и угол нагрузки. При расчете устойчивости необходимо определить критическое напряжение и постоянно следить за изменениями напряжения. Система работает устойчиво только при угле нагрузки $\theta < \pi/2$, а большой запас устойчивости обеспечивается при увеличении тока возбуждения. Для предупреждения нарушения статической устойчивости необходимо следить за величиной активно-емкостной нагрузки, которая может вывести угол θ за допустимые пределы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Шапкенов, Б. К.** Ветросолнечные электрические станции / Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б. // Учеб. пособие. – Кереку, 2016. – С. 168. – ISBN 978-601-238-641-7.

2 **Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б.** Электроснабжение на основе возобновляемых источников энергии: учебное пособие / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, М. Б. Кайдар. – Алматы : Эверо, 2016. – 192 с. – ISBN 978-601-310-762-5

3 **Кайдар, А. Б., Марковский, В. П., Кислов, А. П., Шапкенов, Б. К., Кайдар, М. Б.** Особенности двухроторных ветроустановок и места их расположения на территории Казахстана. 6-я Международной научно-практической конференции «Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии», проводимая в рамках специализированного форума «Expo Build Russia» 18–20 апреля 2017 года, МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО, Екатеринбург. – С. 134–145.

4 **Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Шапкенов, Б. К.** Компьютерное моделирование ветроустановки. Международной научно-практической конференции «Эффективное и качественное снабжение и использование

электроэнергии», проводимая в рамках специализированного форума «Expo Build Russia» 18–20 апреля 2017 года, МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО», Екатеринбург. – С. 146–152.

5 **Кайдар, А. Б., Марковский, В. П., Кислов, А. П., Шапкенов, Б. К., Шахман, Е. Т., Кабдыкаримов, А. Е.** К выбору эффективных режимов работы электромеханических систем по критериям энергетической эффективности или позиционирования. Труды УИИ МНПК «Научно-технический прогресс в металлургии», Темиртау, Карагандинский государственный индустриальный университет, 2015. – С. 47–52. – ISBN 978-601-7369-59-0.

6 **Гуревич, Ю. Е.** Устойчивость нагрузки электрических систем / Ю. Е. Гуревич, Л. Е. Либова, Э. А. Хачатрян. – М. : Энергоиздат, 1981. – 208 с.

7 **Кислов, А. П., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П., Кайдар, М. Б., Кайдар, А. Б.** Вопросы сопряжения автономных ветродизельных электростанций с нагрузкой, с. 30-34/Актуальные проблемы автоматизации и энергосбережения в ТЭК России: материалы Всероссийского с международным участием научно-практического семинара (Нижевартовск, 6 апреля 2018 года) / отв. ред. А. Ю. Ковалев. Нижевартовск: Изд-во Нижеварт. гос. ун-та, 2018. – 186 с.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

В. П. Марковский¹, А. Б. Кайдар², М. Б. Кайдар³, Б. К. Шапкенов⁴, А. П. Кислов⁵, С. Ж. Кулумбенов⁶

Жел қондырғыларымен автономды электрмен жабдықтау жүйелерінің қалыпты жұмыс режимін бұзу себептері

^{1,4,5,6}С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

²«Тараз химиялық паркі АЭА» БК» АҚ, Шу қ., Қазақстан Республикасы;

³«КазТрансГаз» АҚ,

Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы.

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

V. P. Markovsky¹, A. B. Kaidar², M. B. Kaidar³, B. K. Shapkenov⁴, A. P. Kislov⁵, S. Zh. Kulumbenov⁶

Causes of disruption of the normal operation of autonomous power supply systems with wind turbines

^{1,4,5,6}S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

²JSC «MC SEZ HimPark Taraz»,
Shu, 081000, Republic of Kazakhstan;

³JSC «KazTransGas»,
Astana, 010000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 17.08.18.

Мақалада автономды энергиямен жабдықтау жүйесінде жұмыс істейтін жел қондырғыларының қалыпты режимдерін бұзу проблемалары қарастырылады. Авторлар жүйенің режимін бес критерий бойынша орындалуын ұсынады:

1 Жел электр станцияларының (ЖЭС) тұрақтылығы;

2 Синхронды генератордың асинхронды кіруіне болмауы;

3 Дизель генераторлық қондырғыларда (ДГК) кері күштің болмауы;

4 Жүйеде теңестірілген тоқтардың жоқтығы;

5 Жүктеме торабының тұрақтылығын сақтау.

Ұсынылған критерийлер ДЖЭС-мен автономды ЭЖЖ-нің қалыпты жұмыс режимдерін анықтауға мүмкіндік береді. ДЖЭС-мен автономды СЭС қалыпты жұмыс істеуі үшін барлық көрсетілген жұмыс жағдайлары сақталуы тиіс. Егер кем дегенде бір критерий бұзылған болса, онда режим қалыпты болып табылады.

The article deals with the problems of violation of normal modes of wind turbines operating on an Autonomous power supply system. The authors proposed to assess the mode of the system according to five criteria:

1 Stability of wind power plants (wind turbines);

2 No asynchronous running of synchronous generator;

3 No reverse power flow in diesel generator sets (DGS);

4 No equalizing currents in the system;

5 Maintaining the stability of the load node.

The proposed criteria make it possible to determine the normal and abnormal modes of operation of PSS with Autonomous wind-diesel power stations. For normal operation of PSS with Autonomous wind-diesel power stations must comply with all specified conditions of operation. If at least one criterion is violated, the regime is abnormal.

Ә. А. Саятов¹, А. К. Жумадирова²

¹магистрант, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²к.т.н., доцент, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: aliazk@mail.ru

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В статье рассмотрено устройство автоматического определения параметров изоляции в электрических сетях с изолированной нейтралью напряжением 6–10 кВ. Описана схема подключения измерительных приборов к электрической сети с использованием трансформатора напряжения и микропроцессорной системы управления. Изложен принцип действия устройства. Приведены математические зависимости для определения параметров изоляции – активной и емкостной проводимостей изоляции сети. Составлена модель устройства с помощью математического моделирования в системе Matlab, реализующая граф-схему алгоритма определения параметров изоляции. Произведено исследование и оценка характеристик разработанного устройства.

Ключевые слова: электробезопасность, изоляция, электрические сети, измерение напряжения, микроконтроллер.

ВВЕДЕНИЕ

Режим работы электрической сети, изолированной от земли, широко применяется в электроустановках, требующих повышенной надежности энергоснабжения. К таким электроустановкам относятся системы энергоснабжения промышленных предприятий.

Преобладающим видом повреждения в электрических сетях напряжением 6–10 кВ являются однофазные замыкания на землю, составляющие около 75 % общего числа повреждений. Длительность воздействия однофазного замыкания на землю приводит к междуфазным и множественным коротким

замыканиям. Во многих случаях причиной возникновения замыкания и дальнейшего развития аварии является износ электрической изоляции сети. Поэтому своевременное выявление и устранение дефектов, сопровождающихся изменением активной и емкостной составляющих проводимостей изоляции, позволит предотвратить большую часть повреждений.

Существующие методы определения параметров изоляции проводят измерение косвенными способами, обладающими погрешностью. Кроме того, определение параметров изоляции методом прямого замыкания одной из фаз на землю создает повышенную опасность для обслуживающего персонала.

Таким образом, для повышения уровня электробезопасности обслуживающего персонала при проведении измерений под рабочим напряжением разработано устройство автоматического определения параметров изоляции в электрических сетях напряжением 6–10 кВ.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Принцип работы устройства поясняется функциональной схемой, приведенной на рисунке 1. На схеме показаны: трехфазная электрическая сеть; выключатель нагрузки QF ; трансформатор напряжения TV ; дополнительная активная проводимость g_p ; блок датчиков напряжения $БДН$; блок гальванической развязки $БГР$; блок управляемого ключа $БУК$; исполнительный орган $ИО$; аналого-цифровой преобразователь ADC ; центральный процессор CPU ; энергонезависимое оперативное запоминающее устройство RAM ; энергонезависимый таймер реального времени RTC ; дисплей LCD ; клавиатура KB .

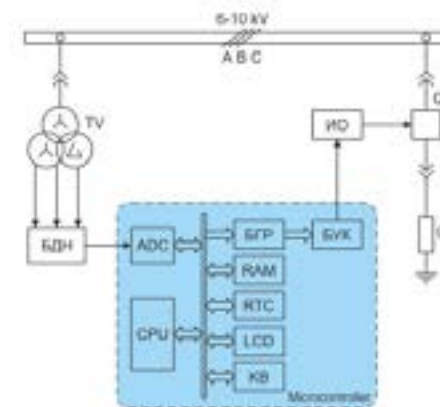


Рисунок 1 – Функциональная схема устройства автоматического определения параметров изоляции

К трехфазной сети подключаются трансформатор напряжения и дополнительная активная проводимость через выключатель *QF*. На вторичные обмотки трансформатора напряжения подключен блок датчиков напряжения, выводы которого подключены к аналого-цифровому преобразователю.

Аналого-цифровой преобразователь, блок управляемого ключа через блок гальванической развязки, энергонезависимое оперативное запоминающее устройство, энергонезависимый таймер реального времени, дисплей, клавиатура посредством внутренней шины подключены к центральному процессору.

Блок управляемого ключа подключен к исполнительному органу выключателя дополнительной активной проводимости. Блок гальванической развязки предназначен для гальванического разделения цифровой части устройства от электрической сети. Энергонезависимый таймер реального времени используется для ведения календаря и привязки результатов измерений ко времени. Клавиатура предназначена для установки начальных установок устройства: периода измерения параметров изоляции, параметров аналого-цифрового преобразователя и др.

При повреждении изоляции какой-либо фазы электроустановки в сети относительно земли протекают токи однофазного замыкания на землю, и на дополнительной обмотке трансформатора напряжения появляется напряжение нулевой последовательности. С выводов вторичных обмоток трансформатора напряжения снимаются сигналы модулей линейного напряжения сети $U_{л}$, напряжения фазы *A* относительно земли $U_{ф0}$, напряжения нулевой последовательности U_0 , которые через блок датчиков напряжения, поступают в аналого-цифровой преобразователь.

Центральный процессор выполняет следующую программу обработки данных.

1) Центральный процессор через блок гальванической развязки посылает в блок управляемого ключа сигнал подключения дополнительной активной проводимости, который усиливается и поступает на исполнительный орган выключателя *QF*. К фазе *A* электрической сети исполнительным органом выключателя *QF* подключается дополнительная активная проводимость.

2) Центральный процессор через интервал времени, достаточный для подключения дополнительной активной проводимости программирует аналого-цифровой преобразователь на опрос блока датчиков напряжения по каналам напряжения фазы относительно земли, линейного напряжения и напряжения нулевой последовательности, аналого-цифровой преобразователь производит преобразование сигналов модулей напряжений в цифровые коды.

3) Центральный процессор считывает цифровые коды из аналого-цифрового преобразователя и вычисляет значения параметров изоляции по выражениям [1]:

– полная проводимость изоляции сети

$$y = \frac{U_{ф0}}{U_0} g_0; \tag{1}$$

– активная проводимость изоляции сети

$$g = \frac{U_{л}^2 - 3U_{ф0}^2 - U_0^2}{2U_0^2} g_0; \tag{2}$$

– емкостная проводимость изоляции сети

$$b = \sqrt{y^2 - g^2} = \frac{g_0}{U_0^2} \sqrt{4U_{ф0}^2 U_0^2 - (U_{л}^2 - 3U_{ф0}^2 - 3U_0^2)^2}, \tag{3}$$

где $U_{ф0}$ – напряжение фазы относительно земли; U_0 – напряжение нулевой последовательности; $U_{л}$ – линейное напряжение; g_0 – дополнительная активная проводимость.

4) Центральный процессор считывает с энергонезависимого таймера реального времени текущее время. Вычисленные значения параметров изоляции и время текущего измерения центральный процессор записывает в энергонезависимое оперативное запоминающее устройство, выполняющее функцию памяти данных, а также посылает на дисплей.

5) Центральный процессор через блок гальванической развязки посылает в блок управляемого ключа сигнал отключения дополнительной активной проводимости, который поступает на исполнительный орган выключателя *QF*. Дополнительная активная проводимость исполнительным органом выключателя *QF* отключается от фазы *A* трехфазной электрической сети.

Центральный процессор через интервал времени, равный заданному периоду определения параметров изоляции, повторяет программу обработки данных. Для подключения выключателя *QF* дополнительной активной проводимости к фазе электрической сети используется резервная ячейка комплектного распределительного устройства.

Сложность разрабатываемого устройства автоматического определения параметров изоляции делает актуальной задачу его моделирования на стадии разработки с целью получения оценок прогнозируемых и достижимых характеристик. Наиболее эффективным видом моделирования, позволяющим учесть практически все существенные для данного исследования параметры

и условия функционирования устройства, является имитационное моделирование в системе Matlab в сочетании с пакетом визуального моделирования Simulink. Таким образом, для проверки правильности логической структуры устройства построена его модель, приведенная на рисунке 2.

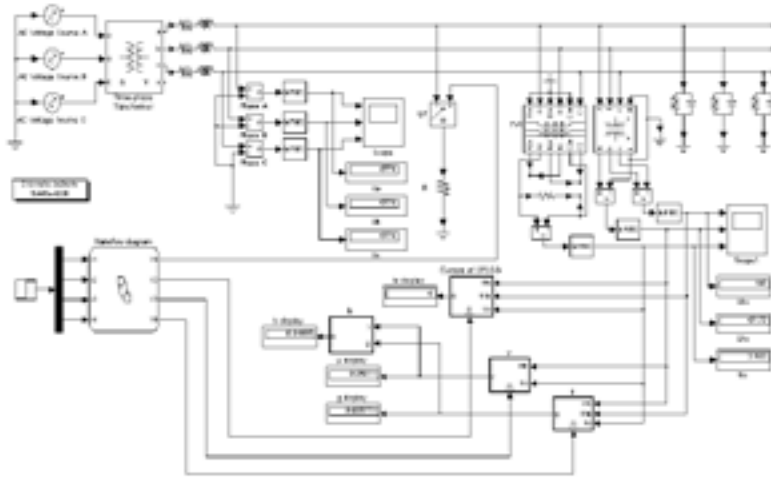


Рисунок 2 – Модель устройства

Модель устройства содержит: AC Voltage Source; Three-phase Transformer 110/10 kV; трехфазную электрическую сеть с параметрами $R_{\lambda} = 6,2 \text{ Ом}$; $L_{\lambda} = 2,865 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$; протяженность 10 км; емкостные проводимости изоляции сети b_A, b_B, b_C ; активные проводимости изоляции сети g_A, g_B, g_C ; выключатель QF дополнительной активной проводимости, коммутирующий фазу A электрической сети с землей для имитации однофазного замыкания на землю; дополнительное активное сопротивление $R = 1000 \text{ Ом}$; вольтметры для измерения напряжения фаз A, B и C относительно земли; измерительный трансформатор напряжения TV1 для измерения напряжения нулевой последовательности, линейного напряжения и напряжения фазы A относительно земли с коэффициентом трансформации, равным 100; блоки вычисления параметров изоляции и тока однофазного замыкания на землю; блок единичного перепада сигнала в заданное время «Step»; блоки виртуального осциллографа «Scope» для визуализации диаграмм напряжений; дисплей, на которых выводятся численные значения напряжений, тока однофазного замыкания на землю и параметров изоляции.

Приняты следующие параметры моделирования: метод моделирования – дискретный с фиксированным шагом; период дискретизации – 6 микросекунд эталонного машинного времени; время моделирования – 0,5 секунд эталонного машинного времени; размер шага – фиксированный автоматический; режим автоматический.

Параметры электрических линий и трансформаторов рассчитывались в математической системе Mathcad в соответствии с принятой в Matlab системой относительных единиц [2].

Модель работает следующим образом. Все управляющие сигналы поочередно подает блок Stateflow diagram, схема этого блока реализует граф-схему алгоритма автомата Мили для автоматического определения параметров изоляции [3]. После запуска процесса симуляции на осциллографах отображаются диаграммы фазных напряжений, диаграммы линейного напряжения, напряжения фазы A относительно земли и напряжения нулевой последовательности на рисунке 4.

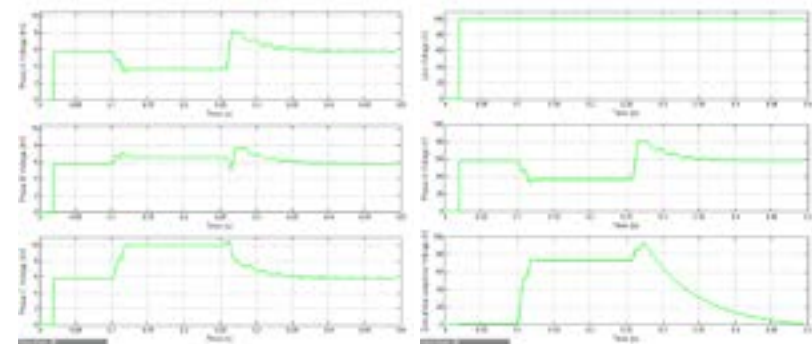


Рисунок 3 – Диаграммы напряжений

В момент времени $t = 0 \text{ с}$: напряжения фаз A, B и C равны между собой и их действующие значения составляют $U_A = U_B = U_C = 5775 \text{ В}$; линейное напряжение $U_{\lambda} = 100 \text{ В}$; напряжение фазы A относительно земли $U_{\phi 0} = 57,74 \text{ В}$; напряжение нулевой последовательности $U_o = 0 \text{ В}$.

В момент времени $t = 0,1 \text{ с}$ фаза A электрической сети замыкается на землю через дополнительную активную проводимость: напряжение фазы A $U_A = 3649 \text{ В}$; напряжение фазы B $U_B = 6616 \text{ В}$; напряжение фазы C $U_C = 9930 \text{ В}$; линейное напряжение $U_{\lambda} = 100 \text{ В}$; напряжение фазы относительно земли $U_{\phi 0} = 36,48 \text{ В}$; напряжение нулевой последовательности $U_o = 72,62 \text{ В}$.

В момент времени $t = 0,15 \text{ с}$ к блокам вычисления полной, активной, емкостной проводимостей изоляции и тока однофазного замыкания на

землю подводится модули напряжения нулевой последовательности U_0 , напряжения фазы A относительно земли $U_{\phi 0}$ и линейного напряжения U_x , где с учетом дополнительной активной проводимости g_0 , равной $0,001 \text{ См}$, по выражениям (1), (2) и (3) вычисляются значения полной, активной и емкостной составляющих проводимости изоляции.

В момент времени $t = 0,2 \text{ с}$ отключаются блоки вычисления полной, активной, емкостной проводимостей изоляции и тока однофазного замыкания на землю.

В момент времени $t = 0,25 \text{ с}$ дополнительная активная проводимость отключается от фазы A электрической сети. Напряжения фаз A , B и C принимают свое первоначальное значение, напряжение нулевой последовательности уменьшается до нуля.

Как видно из рисунка 3 соотношение между напряжениями фаз A , B и C относительно земли после подключения дополнительной активной проводимости изменилось и составляет $U_C > U_B > U_A$.

На дисплеях выводятся значения всех измеряемых параметров и значения вычисленных величин: на дисплее I_0 действующее значение тока однофазного замыкания на землю, равное $5A$; на дисплее u величина полной проводимости изоляции сети, равная $0,05011 \text{ См}$; на дисплее g величина активной проводимости изоляции сети, равная $0,006773 \text{ См}$; на дисплее b величина емкостной проводимости изоляции сети, равная $0,04965 \text{ См}$.

ВЫВОДЫ

На основе полученных результатов моделирования можно сделать вывод о том, что разработанная модель устройства автоматического определения параметров изоляции соответствует теоретическим представлениям и является достоверной и адекватной реальным условиям эксплуатации сети. Разработанное устройство автоматического определения параметров изоляции позволяет осуществлять контроль за состоянием изоляции электрических сетей, а также обеспечивает электробезопасность обслуживающего персонала при проведении измерений. Применение микропроцессорной элементной базы позволяет интегрировать устройство с автоматизированной информационно-управляющей системой контроля элементов системы электроснабжения предприятия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Дьяконов, В. П. Simulink 4. Специальный справочник. – СПб. : Питер, 2002.

2 Утегулов, Б. Б., Утегулов, А. Б., Жумадилова, А. К., Шинтемиров, А. М. Разработка управляющего микропрограммного автомата Мили устройства автоматического определения параметров изоляции в электрической сети напряжением 6–10 кВ. – Вестник ПГУ. – № 1. – 2004. – С. 242–247.

3 Щуцкий, В. И., Утегулов, Б. Б. Определение тока одно-фазного замыкания на землю в карьерных сетях напряжением выше 1000 В. – Добыча угля открытым способом. – № 6. – 1981. – С. 19–20.

4 Коршун, И. В. Современные микроконтроллеры : архитектура, средства проектирования, примеры применения, ресурсы сети Интернет. – М. : Аким, 1998.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

Ә. А. Саятов¹, А. К. Жумадилова²

Электр желілерінің оқшаулау параметрлерін анықтауға арналған автоматты құрылғыны әзірлеу

^{1,2}Энергетика факультеті,

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

A. A. Sayatov¹, A. K. Zhumadirova²

Development of the device for automatic identification of power lines insulation parameters

^{1,2}Faculty of Energy Engineering,

S. Toraihyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 17.08.18.

Мақалада 6–10 кВ оқшауланған бейтарап кернеуі бар электр желілерінде оқшаулау параметрлерін автоматты түрде анықтау құрылғысы қарастырылған. Өлшеу құрылғыларын кернеу трансформаторы мен микропроцессорлық басқару жүйесін пайдалану арқылы электр желісіне қосу схемасы сипатталған. Құрылғының жұмыс істеу принципі көрсетілген. Оқшаулау параметрлерін анықтау үшін математикалық тәуелділік – желі оқшаулауының белсенді және сыйымдылықты өткізгіштері. Құрылғының үлгісі оқшаулау параметрлерін анықтау үшін алгоритмнің сызбалық схемасын іске асыратын Matlab жүйесіндегі математикалық

модельдеу арқылы жасалған. Дамыған құрылғы сипаттамаларын зерттеу және бағалау жүргізілді.

The article considers the device for automatic determination of insulation parameters in electric networks with isolated neutral voltage of 6–10 kV. The circuit of connection of measuring devices to an electric network with use of a voltage transformer and a microprocessor control system is described. The principle of operation of the device is stated. The mathematical dependences for determining the insulation parameters – active and capacitive conductances of network isolation – are given. A model of the device is constructed using mathematical modeling in the Matlab system, which implements a graph-scheme of the algorithm for determining the insulation parameters. The research and evaluation of the characteristics of the developed device was made.

FTAMP 49.40.49

Т. Г. Сериков¹, А. Б. Оразбек², М. М. Тұрсынәлі³

¹PhD доктор, «Байланыс жүйелері және техникасы» кафедрасы, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы;

²студент, «Байланыс жүйелері және техникасы» кафедрасы, Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы;

³студент, «Байланыс жүйелері және техникасы» кафедрасы, Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы

e-mail: ¹tansaule_s@mail.ru; ²han_-98@mail.ru; ³madievm_077@mail.ru

NETCRACKER БАҒДАРЛАМАСЫНДА ЛОКАЛЬДЫ ЕСЕПТЕУ ЖЕЛІЛЕРІН МОДЕЛЬДЕУ ЖҰМЫСТАРЫН ЖҮРГІЗУ

Мақалада Netcracker Professional бағдарламасында модельдеу жұмыстарын жүргізу қарастырылды. Бағдарламада локальды есептеу желісін құруға арналған ең маңызды функцияларын пайдалану жолдары көрсетілді. Соның ішінде торап жобаланғаннан кейін біз онда NetCracker Professional AutoSimulation функциясын және әр түрлі статистикалық хабарламаларды қолданып трафик түрлерін енгізуге және оның жұмысын тексеруге болады. Мұндай функциялардың қатарына тағы да келесілерді жатқызуға болады: алынған мәліметтер негізінде жаңа жобаны автоматты түрде құра отырып, шынайы торап (Autodiscovery) пен оның құрылғыларын (және оларды реттеу параметрлерін) сканерлеу мен табу; Microsoft Visio мм бағдарламасы көмегімен жасалған жобаларды импорттау; Құрылған жобаны графикалық файлға экспорттау; Жоба мен байланыс жолағы бойында барлық жабдық құнын автоматты есептеу мүмкіндігі.

Локальды желі құрылып болған соң анимация көмегімен жұмысты визуалды имитациялау процесі орындалды. Статистикалық ақпараттар әртүрлі көрсеткіштер түрінде бейнеленді.

Кілтті сөздер: Netcracker Professional, локальды есептеу желісі, анимация, визуалды имитациялау процесі, статистикалық ақпараттар, локальды желі.

КІРІСПЕ

Қазіргі уақытта жұмыс орындарында локальды есептеу желісін құру жұмыстарын жүргізу үшін алдымен оның моделін жасап көру кеңінен таралған. Себебі, құрылатын желінің дұрыс жұмыс істеу істемеуінің нәтижесін тапсырыс берушіге вертуалды түрде көрсету міндеттеледі. Осындай мәселенің ең ұтымды әрі оңай шешімі Netcracker Professional бағдарламасы болып табылады. Аталған бағдарламада жұмыс істеу функциялары төмендегідей көрсетілген.

НЕГІЗГІ БӨЛІМ

NetCracker Professional – желі моделін оңтайлы, динамикалық және визуалды түрде беретін жергілікті де (бір- және көп деңгейлі), таратылған да тораптарды жобалау мен модельдеуге арналған құрал.

Бағдарлама мәліметтер базасы әр түрлі өндірушілердің мыңдаған тораптық құрылғылардан тұрады және базаға өз құрылғыларын құруға және қосуға мүмкіндік береді.

Drag-and-drop графикалық интерфейсі тораптарды оңай және оқытусыз жоспарлап, жобалауға мүмкіндік береді.

Бағдарламаның ең қызықты және пайдалы қызметтерінің бірі болып анимация көмегімен торап жұмысын анық имитациясы саналады. Торап жобаланғаннан кейін біз онда NetCracker Professional AutoSimulation функциясын және әр түрлі статистикалық хабарламаларды қолданып трафик түрлерін енгізе және оның жұмысын тексере аламыз. Үлкен емес жобалар жағдайында торап жұмысының имитациясы нақты уақыт режимінде жүреді.

Шынайыға максималды жақын параметрлі жоба жұмысының имитация үрдісінде бағдарлама жұмыс имитациясы аяқталғаннан кейін қарауға және есеп түрінде басып шығаруға болатын әр түрлі статистикалық мәліметтерді көрсетіп, жинақтайды.

Қосымша функциялар ретінде бағдарламада келесі мүмкіндіктер қаралған:

✓ Алынған мәліметтер негізінде жаңа жобаны автоматты түрде құра отырып, шынайы торап (Autodiscovery) пен оның құрылғыларын (және оларды реттеу параметрлерін) сканерлеу мен табу;

✓ Microsoft Visio™ бағдарламасы көмегімен жасалған жобаларды импорттау;

✓ Құрылған жобаны графикалық файлға экспорттау;

✓ Жоба мен байланыс жолағы бойында барлық жабық құнын автоматты есептеу мүмкіндігі.

Негізгі қолданылатын терезе. Тақырып жолы, бас мәзір және құрал-саймандар панеліне қосымша, NetCracker Professional терезесі негізі үш аумақтан тұрады:



Сурет 1 – NetCracker Professional негізгі қолданбалы терезесі

Жобада құрылғыларды қосу үшін қандай байланыс түрлері қолданылатынын білу үшін View мәзірінен Media Colors командасын таңдаңыз.



Сурет 2 – Шартты белгілеулердің диалогты терезесі

Мұнда жоба сұлбасында қосылыстардың белгілі бір типтері көрсетілетін түстер көрсетіледі (және ауыстыруға болады):

Коаксиалды кәбіл (қара)

Бұралған жұп (көк)

Опто-талшық (сары)

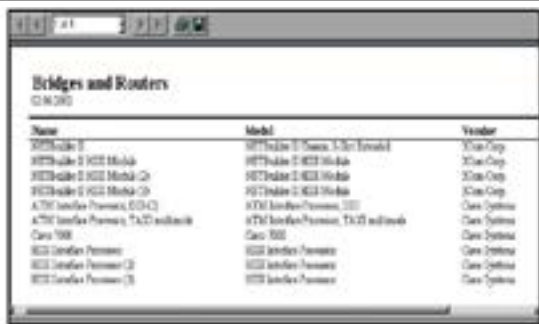
Көпсымды жолақтар (қоңыр)

Радиоарна (жасыл)

Жобалау есептерінен сіз барлық тораптар туралы ақпарат ала аласыз.


Есепті алу үшін Tools мәзірінен Reports мәзіршесін таңдаңыз.

а. Көпірлер мен маршрутизаторлар туралы есеп алу үшін Routers/Bridges таңдаңыз, содан кейін есеп мастерінде Дәлее (Next) батырмасын басыңыз, содан соң Готово (Finish) батырмасына басыңыз. Есеп жұмыс кеңістігінде ашылады, есеп үстінде есеп беттерін парақтауға (егер ол көп парақты болса), оны басып шығаруға немесе файлға экспорттауға мүмкіндік беретін Report құрал-саймандар панелі шығады.

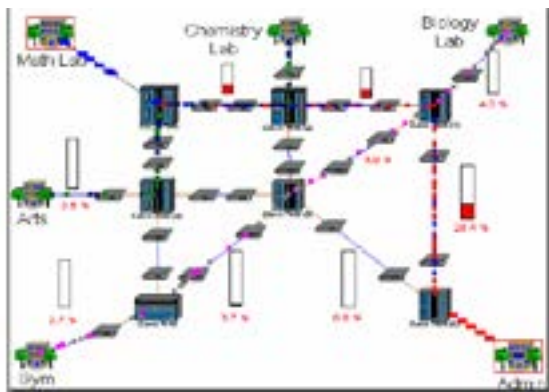


Сурет 3 – Құрал-саймандар панелімен есеп

Анимация ерекшеліктерін қолдану

Жоба анимациясын іске қосыңыз, ол үшін **Control** құрал-саймандар панелінде **Start**  басыңыз, немесе **Control** мәзірінен **Start** командасын таңдаңыз.


Жұмыс кеңістігінде пакеттер алмаса бастайды.

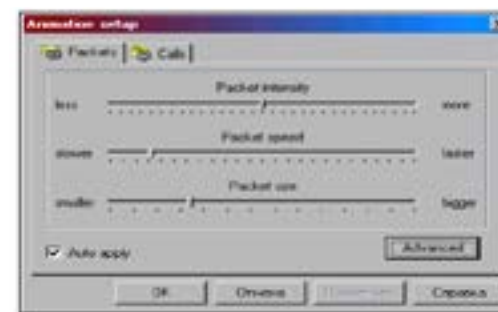


Сурет 4 – Анимациялы сайт терезесі



Сурет 5 – Басқару құрал-саймандар панелі

Анимация параметрлерін түзеу үшін Animation Setup  батырмасына басыңыз.



Сурет 6 – Анимация реттеулерінің диалогы

Пакет туралы ақпарат алу үшін кез келген пакет үстіне курсорды апарыңыз, оның үстінде қалқымалы сыбыр (всплывающая подсказка) пайда болады. Курсор пакет үстінде тұрғанда жергілікті мәзірге шығу үшін тышқанның оң жақ батырмасын басыңыз да, пакет туралы ақпаратты тыңдау үшін Say Info командасын таңдаңыз.




Сурет 7 – Пакеттерге арналған жергілікті мәзір.

Байланыста илісін жасаңыз

a. Pause батырмасын басыңыз (пауза күйіне қосылу үшін). Пернетақтада CTRL батырмасын басып тұрып, байланысқа тура тышқанның сол жақ батырмасын екі рет басыңыз.

b. Байланыста қара шаршы пайда болады. Тышқан батырмасын қара шаршыда басып ұстап тұрыңыз да, оны жаңа орынға ауыстырыңыз, одан кейін тышқанның сол жақ батырмасын жіберіңіз.

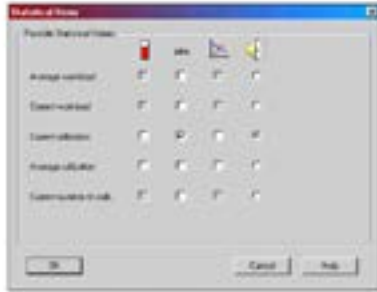
Статистиканы қолдану

Бастаудың  батырмасын басып, анимация мен модельдеуді іске қосыңыз.

Байқасаңыз, жобаның көптеген нысандары қасында барлық мүмкін индикаторлар болады. Олар торап жұмысына қатысты статистикалық ақпаратты көрсетеді. Бұл ақпарат NetCracker Professional Simulation құралымен жинақталады.

Экранның төменгі жағына қараңыз, «Изображения» панелінің төменгі жағында күй қатары орналасқан. Күйлер қатары қазіргі таңда NetCracker-дің не істеп жатқанын айтып ақпарат береді. Күйлер қатарының оң жағында

«Жүйелік терезені» көрсететін терезе болады. Бұл желі жұмысының модельдеуі жүретін секундтар саны. Үлкен жобаларды модельдеуде бұл уақыт шынайы уақытқа қарағанда баяу өтеді.



Сурет 8 – Статистика диалогы

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл мақалада біз Netcracker Professional бағдарламасының негізгі функцияларының жұмыс істеу принциптері туралы толықтай ақпарат бердік. Локальды есептеу желісін құрып болған соң желінің дұрыс жұмыс істегендігі туралы статистика жасалынды. Шынайыға максималды жақын параметрлі жоба жұмысының имитация үрдісінде бағдарлама жұмыс имитациясы аяқталғаннан кейін қарауға және есеп түрінде басып шығаруға болатын әр түрлі статистикалық мәліметтерді көрсетіп, жинақтайды. Статистика төрт түрде бейнеленді: график түрінде, дауыс арқылы, пайыз мөлшерімен, көрсеткіш индикатор.

Netcracker Professional бағдарламасы – желі моделін оңтайлы, динамикалық және визуалды түрде беретін модельдеуге арналған өте тиімді құрал.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Кутбитдинов, С. Ш.** Разработка и исследование моделей распределения сетевых ресурсов в сетях связи следующего поколения: автореф. техн. наук. – СПб., 2013. – 26 с.

2 **Абаев, П. О.** Построение моделей и анализ вероятных характеристик протокола установления сессий: дис. канд. физ. – мат. наук. – М., 2011. – 97с.

3 **Новожилов, А. Н.** Математическое моделирование эксплуатационных и аварийных режимов работы асинхронных двигателей // Электричество. – 2000. – № 5. – С. 37–41.

4 **Willinger, W., Taqqu, M. S, Erramilli.** A A bibliographical guide to selfsimilar traffic and performance modeling for modern high- speed networks. Stochastic Networks: Theory and Applications. In Royal Statistical Society Lecture Notes Serits. – Oxford University Press, 1996. – Vol.4. – P. 339–3367

5 **Norros, I.** A storage model with self-similar input // Queueing Systems. – 1994. – Vol.16. – P. 387 – 396. 8. Домбровский В. В., Хуторецкий Г. М. Основы проектирования машин переменного тока. – Л. : Энергия, 1974. – 504 с.

6 <https://www.youtube.com/X9xYOiM&feature=youtu.be>

7 https://www.youtube.com/v9_iX9xYOiM&feature=youtu.be

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

Т. Г. Сериков¹, А. Б. Оразбек², М. М. Тұрсынәлі³

Ведение моделирования локально-вычислительной сети в программе Netcracker Professional

^{1,2,3}Факультет энергетика, автоматика и телекоммуникации, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан. Материал поступил в редакцию 17.08.18.

T. G. Serikov¹, A. B. Orazbek², M. M. Tursinaly³

Simulation of the local-computer network in the Netcracker Professional program

^{1,2,3}Faculty of Power Engineering, Automation and Telecommunications, Karaganda State Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan. Material received on 17.08.18.

В статье рассмотрено ведение модельных работ программы Netcracker Professional. Программа показывает самые полезные пути использования функции ЛВС. Из них, как сеть спроектирована, мы можем задать в ней виды трафика и проверить ее работу, используя функцию NetCracker Professional AutoSimulation и различные статические сообщения. Еще к таким функциям относятся следующее: сканирование и распознавание реальной сети (Autodiscovery) и ее устройств (и параметров их настройки) с автоматическим созданием нового проекта на основе полученных данных; импортирование проектов, созданных с помощью программы Microsoft Visio; экспортирование созданного проекта и в графический файл; возможность автоматического подсчета стоимости всего

оборудования в проекте и протяженности линий связи. После конструкции локальной сети выполнен процесс визуальной имитации, выполняемый с помощью анимации. Статические информации изображены в виде разных форм.

The article discusses the maintenance of model works of the Netcracker Professional program. The program shows the most useful ways of using the LAN function. Of these, as the network is designed, we can define traffic types in it and test its operation using the NetCracker Professional AutoSimulation function and various static messages. Other functions include the following: scanning and recognizing the real network (Autodiscovery) and its devices (and their settings) with the automatic creation of a new project based on the received data; importing projects created with the Microsoft Visio program; export the created project and into a graphic file; The ability to automatically calculate the cost of all equipment in the project and the length of communication lines. After the design of the local network, a process of visual simulation is performed with the help of animation. Static information is depicted in various forms.

FTAMP 49.40.49

Т. Ф. Серіков¹, А. Ж. Сабитова²

¹PhD доктор, аға оқытушы, «Байланыс жүйелер технологиясы» кафедрасы, Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы;

²студент, «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» мамандығы, Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы
e-mail: ¹tansaule_s@mail.ru; ²98sabitova@gmail.com

ZIGBEE – АҚЫЛДЫ ҮЙГЕ АРНАЛҒАН СЫМСЫЗ ТЕХНОЛОГИЯ

Мақалада ZigBee технологиясы жайлы және оның ақылды үй жағдайында қолданылуы қарастырылып, IEEE 802.15.4 стандарты немесе деректерді берудің басқа да хаттамалары арқылы іске асырылған жұлдызды топологиясы бар желі негүрлым үнемді шешім болуы мүмкіндігі қарастырылды. ZigBee хаттамасының арқасында ақылды үйдегі құрылғылар талданып, оның қарапайым халықтар тиімді қолданылуы жайлы және қашиықтықтан пайдалану мүмкіндігі жайында кенінең қарастырамыз. Сонымен қатар Zigbee мен Wi-Fi арасындағы негізгі айырмашылықтарды талдап көрсетеміз. Негізгі мақсат – заманауи ақылды үйді қашиықтықтан басқару мүмкіндігінсіз елестету мүмкін еместігін көрсету болып табылады. Zigbee - ашық стандарт, және кез-келген компания өзінің модульдерін ашық сипаттамаға сәйкес шығара алады. Сондықтан Zigbee құрылғылары Z-Wave құрылғысынан арзанырақ және қазір Zigbee протоколы кең қолданыста және ақылды үй жүйелерінің де-факто стандартына айналды деп айта аламыз. ZigBee Smart аккумуляторлар нарығындағы барлық ірі компаниялар: Amazon, Philips, Samsung, Xiaomi, LG, Logitech, IKEA және тағы басқалар пайдаланылатындығы жайлы ақпарат береміз. Зерттеудің мақсаты: Бүгінгі жас ұрпақ өз еліне үлес қосып қазіргі заманауи технологияларды тиімді пайдалануды үйрену болып табылады.

Кілтті сөздер: ZigBee хаттамасы, қашиықтықтан пайдалану мүмкіндігі, Zigbee мен Wi-Fi арасындағы негізгі айырмашылықтар, Zigbee - ашық стандарт, Zigbee протоколы және оның қолданылуы.

КІРІСПЕ

ZigBee – Wi-Fi және Bluetooth сияқты сымсыз стандартты, бірақ ол тек қана интернет және ақылды үй үшін арнайы жасалған. ZigBee хаттамасының арқасында ақылды үйдегі құрылғылар «бір-бірімен байланысады». ZigBee атауы «зигзаг» (zigzag) және «аралар» (bee) сөздерінен шығып, батыста «zigbee» термині бал араларының биіне жатады. Стандартты әзірлеушілердің айтуынша бұл атау Zigbee желісінің ұялы топологиясы (құрылымы) бар екендігін және арнайы бағыттау алгоритмдерінің арқасында жеке түйіндер арасында байланыс жоғалту арқылы өзін-өзі сауықтыруға қабілетті екендігін атап көрсетеді. Сонымен қатар, ZigBee үшін жабдықтар жинақы және төмен құны бар. Siri, Google Assistant, Alexa және ZigBee қазіргі заманғы хаб дауысты көмекші арқылы ақылды үйді дауыспен басқаруға мүмкіндік береді.

Қашықтықтан пайдалану мүмкіндігімен қатар, ZigBee құрылғыларынан ақылды үйге, интернетке қосылудың тағы бір мүмкіндіктері ашылады, олсыз 2018 жылы заманауи ақылды үйді елестету мүмкін емес [1].

Біз ақылды үй туралы мәліметтер іздеп, сол туралы ақпараттар жинаған кезде біз жаңа сөзді – ZigBee кездестіреміз. Бұл логотип жиі ақылды үйге арналған әртүрлі құрылғылардың пакеттерінде кездеседі, мысалы, оны Xiaomi Smart Home өнімдерінде, Philips Hue және IKEA TRÅDFRI шамдарынан табуға болады.

Осы шамдармен бірге өндіруші ақылды жарықтандыру жүйесінің толық жұмыс істеуі үшін қажетті «көпір» немесе «хаб» деп аталатын құрылғыны сағатады. Бұл мақалада біз қолжетімді тілде «Zigbee» деген не екенін және неге бұл стандарт ақылды үйде қолданылатындығын егжей-тегжейлі түсіндіреміз [2].

НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Заманауи ақылды үйді қашықтықтан басқару мүмкіндігінсіз елестету мүмкін емес. Мысалы: iPhone немесе Android құрылғысында мобильді қосымшаны ашып, қонақ бөлмесіндегі кондиционерді қосып, жұмыс орнынан келгенде немесе сіз әуежайға баратын таксиде үтікті розеткадан өшірдіңіз бе, жоқ па, егер сіз ұмытып қалсаңыз розетканы осы мобильді қосымшасы арқылы өшіріңіз. Қашықтан басқару үшін, соның ішінде Android немесе iOS-де мобильді қосымшалардан Zigbee құрылғыларының желісі Интернетке қосылуға тиіс және осы мақсат үшін желілік көпірлер (Apple және Philips сияқты көпір деп аталады) пайдаланылады, олар ақылды хабтар (Smart Hub, олар Google деп аталады, Amazon және Samsung). Осы түрдегі құрылғының тағы бір атауы – IKEA және Xiaomi пайдаланатын атау болатын шлюз.

Желілік көпір Zigbee желісіндегі үйлестіруші болып табылады және соңғы құрылғылардың (мысалы, аккумулятордағы есік ашғыштарды)

айырмашылығы, ол әрқашан электр қуатына қосылуы керек, өйткені zigbee желісіндегі үйлестіруші ешқашан ұйықтамайды. Үй желісімен және интернетпен байланысу үшін хаб Wi-Fi маршрутизаторына (сымды байланыс – ең сенімді) қалыпты бұралған жұп кабелі арқылы қосылады.



Сурет 1 – Үй желісімен және интернетпен байланысу үшін хаб Wi-Fi маршрутизаторына қалыпты бұралған жұп кабелі арқылы қосылуы

Желі көпірі ақылды үйдің сымсыз zigbee желісін интернетке қосады. Суретте көріп тұрғандай, хаб ақылды үй құрылғылары мен интернет арасындағы көпір сияқты жұмыс істейді. Бұл әлемнің кез-келген жерінен үйге қосылып, оның жағдайын бақылауға және барлық құрылғыларды басқаруға мүмкіндік береді. Ақылды үйге қосылу үшін ұялы қосымшаны немесе дауыс көмекшісін пайдаланыңыз. Белгілі бір өндірушінің Zigbee ақылды үй құрылғылары құрылғыларды қосатын бірдей брендтің көпіріне ие. Бұл жағдайда, әдетте, басқа брендтердің Zigbee құрылғылары «бөтен» көпірмен сыйыспайтын болады және жаңа өндірушінің құрылғыларын өздерінің үйлесімді үй жүйелеріне қосу үшін жаңа өндірушінің «туған» тағы бір хабын сатып алу қажет болады.

Ең танымал Zigbee hubs / bridges / gateways тізімі:

- Philips реңк көпірі
- IKEA TRÅDFRI шлюзі
- Samsung SmartThings хабы
- Xiaomi Smart Home шлюзі

Егер сізде Amazon Echo бағаны және сүйікті виртуалды ассистентіңіз болса, Alexa болса, сізге «Amazon Alexa» логотипі бар көпірлер қажет.



Сурет 2 – «Works with Amazon Alexa» логотипі

Мүқият болыңыз, кейбір хабтар барлық дауыстық көмекшілермен, мысалы, Philips реңк көпірімен біріктіруді қамтамасыз етеді, ал басқалары бір ғана көмекшіні қолдайды. Мысалы, Xiaomi Smart Home Gateway – ді өте төмен бағаға сатып алуға болады (Xiaomi жинағы Aliexpress - тен сатып алуға болады). Xiaomi zigbee хабына салынған, яғни ақылды үйді сіз орысша басқара алмайсыз, өйткені Alexa (Siri және Google Assistant-ден айырмашылығы) тек ағылшын және неміс тілдерінде жұмыс істейді.

15 жыл бұрын қолданылған сымсыз желілердің стандарты, мысалы WiFi және Bluetooth, жаңа туындайтын қажеттіліктерге, мысалы, ақылды үйге жарамсыз болды.

Бұл стандарттар жеткілікті сенімді емес және олардың модульдері тым қымбат болды. Жаңа желі хаттамасын әзірлеу үшін Zigbee Alliance атауымен жетекші технологиялық компаниялардың (Philips, Samsung, LG, Siemens және басқалар) қауымдастығы құрылды. Ал 2004 жылы арнайы рұқсат талап етілмейтін жиілікте жұмыс істейтін Zigbee хаттамасын реттейтін халықаралық стандарт қабылданды.



Сурет 3 – Желі көпірі интеллектуалды үйдің сымсыз Zigbee желісін интернетке қосады

Кейбір сипаттамаларға сәйкес Wi-Fi және Zigbee стандарттары ұқсас:

- екеуі де 2,4 ГГц жиілігінде жұмыс істейді, ол пайдалану кезінде арнайы рұқсаттарды қажет етпейді

- Екі хаттамада да 20 метрге дейінгі диапазон бар

Логикалық тұрғыдан алғанда, біз қуаттың аз шығыны мен қосылудың сенімділігі бар деректерді беру протоколына мұқтажбыз. Сондықтан, 2003 жылы ZigBee техникалық сипаттамасы ратификацияланды. Бұл құрылғылардың 3 түрінің болуын білдіреді:

1 Үйлестіруші – желіні жасайтын басты бөлім. Ақылды үйде xiaomi бұл рөлді құлыптардың бірі жасайды.

2 Маршрутизатор – тұрақты қуат көзі бар құрылғы. Бұл рөл ажыратқыштар мен розеткалар арқылы қабылданады.

3 Аяқтау құрылғылары – батареяларда жұмыс істейтін сенсорлар мен гаджеттер.

Zigbee мен Wi-Fi арасындағы негізгі айырмашылық «жұлдыз» түрінің топологиясы емес, ұялы топологияны пайдалану болып табылады, мұнда тораптың барлық түйіндері орталық маршрутизатор арқылы қосылған. «Жұлдызша» құрылымында маршрутизаторға қосылу жоғалған болса, торап басқа желі мүшелерімен байланыса алмайды. Мысалы, егер сіздің компьютеріңіз маршрутизатордан ажыратылса, фотосуретті планшеттен алмастыра алмайсыз – Wi-Fi желідегі құрылғылар арасындағы тікелей байланысқа жол бермейді. Wi-Fi желісінде құрылғылар бір-бірімен тек орталық түйін арқылы, яғни роутер арқылы байланыса алады.

Бірақ ұялы құрылыстың арқасында, бір байланыс үзілгенде, айналып өтетін жол салынады және сигнал алушы жаңа жолға жетеді. Бұл топология әлдеқайда сенімді.



Сурет 4 – Wi-Fi желісінде құрылғылар бір-бірімен тек орталық түйін арқылы және роутер арқылы байланыса алуы

Нақты мысал келтіретін болсақ, Wi-Fi арқылы қосылған судың ағып кету сенсоры Wi-Fi маршрутизаторынан үлкен қашықтықта орналасқан және олардың арасында 2 бетон қабырғалары бар. Апат болған кезде сенсор нашар Wi-Fi сигналына байланысты ағып кету сигналын бермейді. Маршрутизатор датчиктің жұмысы туралы сигнал ала алмайды, бұл сигналды басқару орталығына жібермейді, басқару орталығы клапанды жаппайды және су тасқыны пайда болады. Бірақ сіздің ақылды үйіңіз zigbee – де жұмыс істесе, сенсор мен басқару орталығының арасында әлсіз байланыс бар болса, сигнал тікелей емес, басқа құрылғылар арқылы берілетін болады: дәліздегі шамдар, бөлмеде немесе ақылды розеткада. Яғни, басқа құрылғылар апатты үйдің контроллеріне кедергі сигналын жіберген кезде аралық станциялар, сондай-ақ клапанды өшіру туралы кері сигнал ретінде әрекет етеді.

Zigbee-модульдердің өте төмен қуат тұтынуы, құрылғыны пайдаланбаған кезде «ұйқы» арнайы режиміне және деректерді беру қуаттылығы төмен (Wi-Fi үшін 300–1000 Мбит/с салыстырғанда 250 Кбит) байланысты қол жеткізіледі. Жоғары өткізу қабілеті zigbee – ге қажет емес, себебі сенсорлардан және электр құрылғыларынан деректердің өте аз көлемін тасымалдау қажет, бірақ Wi-Fi нақты уақытта бейне көруді қамтамасыз етуі тиіс және т.б. Нәтижесінде, Zigbee модулі қарапайым батареяда бірнеше ай бойы жұмыс істей алады.

Zigbee ақылды үй жүйелерінде пайда болғанға дейін олар Bluetooth-ды қолдануға тырысты. Бұл хаттамалардың ауқымы шамамен бірдей, бірақ bluetooth тым көп кідіріс. Bluetooth-модулінен сигнал берудің кідірісі Zigbee-модуліне арналған 30 миллисекундпен салыстырғанда бірнеше секундқа созылады! 30 миллиметр адамдағы реакция жылдамдығынан әлдеқайда аз – біз үшін, зигби шамын қосу және өшіру сәтте орын алады.

Wi-Fi көп қатысушыларды желіге қосу үшін жарамсыз. Теориялық тұрғыда бірнеше жүз құрылғыларды бір Wi-Fi маршрутизаторына қосуға болады, бірақ әрбір белсенді пайдаланушы практикада қол жеткізе алмайтынын біледі. Орта жолдағы маршрутизаторлар 15–20 гаджетті қосқаннан кейін қайтадан жүктелуді талап етеді және ноутбук, смартфон, планшет және отбасыңыздың басқа құрылғылары. Бірақ бір Zigbee-торабында мыңдаған түйіндер болуы және сонымен бірге тұрақты жұмыс істей алады. Көптеген қосылған құрылғылардың сенімді жұмыс істеу қабілеті интеллектуалды үй мен Интернет заттарының желісінің қажетті сипаттамасы болып табылады.

Зигби-модуль өндірушілері Wi-Fi-ға қарағанда арзанырақ. Zigbee-қосылымы бар смарт-үйге арналған құрылғылар Wi-Fi-мен ұқсас құрылғыларға қарағанда әлдеқайда арзан. Мысал: Zigbee жарық IKEA Trådfri жарықтығын реттеуімен шамамен 700 рубльді құрайды, ал TP-Link LB110 ұқсас өнімнің құны 2300 рубльді құрайды.

Zigbee желілері өнеркәсіптік автоматтандыру, коммерциялық жылжымайтын мүлік және медициналық жабдықта қолданылады. Бірақ, әрине, Zigbee-нің кең таралған және әйгілі қолданылуы ақылды үй жүйелерінің бірі.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл мақалада біз Zigbee технологиясы жайлы мағлұмат бердік. Оның ақылды үй жағдайында қолданылу мүмкіндігін және қазіргі заманауи талаптарға сәйкестігін талдап көрсеттік.

Zigbee - ашық стандарт, және кез-келген компания өзінің модульдерін ашық сипаттамаға сәйкес шығара алады. Сондықтан Zigbee құрылғылары Z-Wave құрылғысынан арзанырақ және қазір Zigbee протоколы жеңіп шыққан және ақылды үй жүйелерінің де-факто стандартына айналды деп айта аламыз. ZigBee Smart аккумуляторлар нарығындағы барлық ірі компаниялар: Amazon, Philips, Samsung, Xiaomi, LG, Logitech, IKEA және тағы басқалар пайдаланылады.

Мысалы, Ikea Trodfrі зигби шамы Xiaomi Smart Home шлюзімен жұмыс істемейді. Бірақ кейбір компаниялар басқа өндірушілердің нақты құрылғыларына қолдау көрсетеді, мысалы, сол Ikea шамдары Philips реңк көпірімен бірге жұмыс істейді.

Сондықтан, ақылды үйге арналған зигби құрылғысын таңдаған кезде, өзіңіз сенетін сапалы өндірушіні таңдауыңыз керек, өйткені оның көпіріне қосылу үшін оның өнімдері ғана болуы мүмкін. Сіз сондай-ақ осы брендтің көпірінің қазіргі заманғы платформалармен интеграциялануын қамтамасыз етуіңіз керек: Apple HomeKit, Google Assistant немесе Alexa.

Apple компаниясы смартфондар нарығына кіріспес бұрын, Google және Amazon Z-Wave стандартымен танымал болды. Бұл протокол Zigbee-ға бәсекелес болды, бірақ ол жабылды, ал смарт-үйге арналған құрылғыны өндірушілер еуропалық өндірушінің Z-Wave модулін сатып алу керек.

Мүмкін, әрбір Wi-Fi желісі қандай пәтерде екенін елестетеді. Таратқыш (маршрутизатор) және қабылдағыш (телефон, ноутбук және басқа құрылғылар) бар құрылғылар бар, олар маршрутизаторда жасалатын бірыңғай желіге қосылған. Сызба бұл келесідей көрінеді:



Сурет 5 – «Жұлдызды» топология

Желінің бұл түрі «жұлдыз» деп аталады, себебі көрнекі ұқсастық (орталық аппарат пен одан шығатын сәулелер). Мұның бәрі өте қарапайым.

Егер схемаға назар аударсаңыз, барлық құрылғылардың розеткаға қосылатындығын немесе жиі зарядтауды қажет ететінін байқайсыз. Мұнда, ақылды үй жүйесіндегі Wi-Fi желісінің негізгі кемшіліктері пайда болады, яғни жоғары қуатты тұтыну. Ал егер розеткадан шыққан құрылғыларда қорқынышты емес болса, батареяда жұмыс істейтін құрылғылар мен сенсорлар үшін – бұл өте қауіпті.

Бірақ бәрі де біз қалағандай оңай емес. Wi-Fi сияқты, Bluetooth «Жұлдызды» топологиясын қолданады. Бұдан қандай қауіп бар деп ойлайтын шығарсыздар? Жауап қарапайым, қысқа және төмен қателік төзімділік. Барлық құрылғылармен байланыс жасау үшін негізгі құрылғыны бөлмелердің ортасына мүмкіндігінше орналастырыңыз. Егер пәтер үшін бұл өте маңызды емес болса, онда жеке үйде бір-бірінен айтарлықтай қашықтықта орналасқан құрылғылар арасындағы тұрақты байланыс қамтамасыз етілмейді.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Сардин, И.** Проблемы функционирования беспроводных устройств Bluetooth и IEEE 802.11 в нелицензируемом диапазоне ISM 2,4ГГц и пути их решения / И. Сардина // Беспроводные технологии. – 2006. – №3. – С.5–17.

2 **Клемешев, Н.** Инструментальный подход к работе с новыми коммуникационными технологиями / Н. Клемешева // Беспроводные технологии. – 2006. – № 3. – С. 7–19.

3 **Захаров, Д.** Интернет начинает эфирное вещание / Д. Захаров // Коммерсантъ: Приложение ТЕЛЕКОМ. – 2004. – № 83. – С. 2805–2922.

4 **Кразит, Т.** Стандарт IEEE 802.15.4 как альтернатива / Т. Кразит // Computer-world. – 2003. – №34. – С. 17–60.

5 **Бараш, Л.** Многообразие стандартов беспроводных технологий / Л. Бараш // Компьютерное обозрение. – 2003. – № 10. – С. 365–379.

6 Стандарты и технологии (беспроводные системы) // Электронные компоненты. – 2003. – № 5. – С. 79–83.

7 Стандарты и технологии (беспроводные системы) // Электронные компоненты. – 2003. – № 5. – С. 79–83.

8 **Мейтин, М.** Bluetooth: устройства всех стран, соединяйтесь! Без проводов / М. Мейтин М // ЭЛЕКТРОНИКА:НТБ. – 2003. – № 5. – С.70–95.

9 **Шахнович, И.** Беспроводные локальные сети. Анатомия стандартов IEEE 802.11 / И. Шахнович // ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ. – 2003. – № 1. – С. 30–45.

10 <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=730702>

11 <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=730702>

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

T. F. Serikov¹, A. Zh. Sabitova²

ZigBee – технология беспроводной связи для умного дома

^{1,2}Факультет энергетики, автоматизации и телекоммуникации, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан. Материал поступил в редакцию 17.08.18.

T. G. Serikov¹, A. Zh. Sabitova²

ZigBee – wireless technology for smart home

^{1,2}Faculty of Power Engineering, Automation and Telecommunications, Karaganda State Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan. Material received on 17.08.18.

В статье обсуждается использование технологии ZigBee и ее приложений в интеллектуальной домашней среде, что позволяет использовать наиболее экономичное решение для сети с топологией звезд, реализованной по стандарту IEEE 802.15.4 или другим протоколам передачи данных. Благодаря протоколу ZigBee интеллектуальные домашние устройства анализируются и значительно обсуждаются с точки зрения их эффективного

использования и удаленного использования. Мы также анализируем основные различия между Zigbee и Wi-Fi. Главная цель - показать, что современный умный дом нельзя представить без дистанционного управления. Zigbee является открытым стандартом, и любая компания может создавать свои собственные модули в соответствии с четким описанием. Таким образом, устройства Zigbee дешевле Z-Wave, и теперь протокол Zigbee стал де-факто стандартом широко распространенных и интеллектуальных домашних систем. Мы предоставляем информацию обо всех крупных компаниях на рынке аккумуляторов ZigBee Smart: Amazon, Philips, Samsung, Xiaomi, LG, Logitech, IKEA и других. Цель исследования: современное молодое поколение должно научиться эффективно использовать современные технологии, способствуя их стране.

The article discusses the use of ZigBee technology and its applications in an intelligent home environment, which makes it possible to use the most economical solution for a network with a star topology implemented according to the IEEE 802.15.4 standard or other data transfer protocols. With the ZigBee protocol, intelligent home devices are analyzed and discussed in terms of their effective use and remote use. We also analyze the main differences between Zigbee and Wi-Fi. The main goal is to show that a modern smart house cannot be imagined without remote control. Zigbee is an open standard, and any company can create their own modules in accordance with a clear description. Thus, Zigbee devices are cheaper than Z-Wave, and now the Zigbee protocol has become the de-facto standard of widespread and intelligent home systems. We provide information on all major companies in the market of ZigBee Smart batteries: Amazon, Philips, Samsung, Xiaomi, LG, Logitech, IKEA and others. The purpose of the study: the modern young generation must learn how to effectively use modern technologies, contributing to their country.

ГРНТИ 004.415.2.031.43

В. С. Степанов¹, Н. С. Глазырина²

¹магистрант, Факультет информационных технологий, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

²PhD, доцент, Факультет информационных технологий, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан

e-mail: ¹rightcrow@gmail.com; ²glazirinan@yandex.ru

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ НАВИГАЦИИ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ

Данная статья посвящена исследованию проблемы навигации внутри современных зданий со сложной структурой. В первой части данной работы уделяется внимание проделанной подготовительной работе, в частности оцифровке плана помещения для дальнейшей разработки приложения. Рассмотрены технологии позиционирования, как глобальные, так и локальные, и выявлены их недостатки и преимущества. Проанализированы существующие методы позиционирования и на основе полученного анализа разработан собственный метод для реализации приложения. Также были проанализированы различные алгоритмы нахождения кратчайшего пути и сконструирован алгоритм, подходящий требованиям разработки приложения для навигации внутри помещения. Разработанное приложение, позволит облегчить процесс навигации для людей, посещающих редко здания со сложной архитектурой. Статья будет интересна людям, работающим в области разработки навигации внутри помещения, а также смежной с ней отраслями.

Ключевые слова: навигация внутри помещения, метод позиционирования, алгоритм кратчайшего пути, Wi-Fi, граф помещения.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время всё более актуальной становится проблема навигации внутри помещений. Здания становятся всё более объёмными и нередко имеют довольно сложную структуру, ориентироваться в которой могут лишь те, кто постоянно посещает такие здания. Первоначальное же освоение может быть довольно затруднительным, а также есть немалое количество людей,

у которых вообще нет нужды посещения определённых мест более, чем несколько раз. Очевидно, что, например, тратить час времени на поиск кабинета врача будет нецелесообразным и грозит опозданием на приём, не говоря уже об опозданиях на рабочее или учебное место [1]. Поэтому возникает необходимость в автоматической системе навигации внутри зданий, которая по запросу пользователя предоставит в удобном виде необходимый минимум информации о пункте назначения и оптимальном пути к нему.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для решения поставленной задачи было разработано программное обеспечение для навигации внутри здания. Прежде всего были начерчены планы каждого этажа здания с его особенностями архитектуры. После этого на чертежи этажей была наложена равномерная расчетная сетка для построения графа помещения, показанная на рисунке 1, в результате чего был получен двумерный массив, значения в котором равны:

- единице, если это препятствие на чертеже (стена, колонна);
- нулю – все остальное.

На рисунке 2 показан оцифрованный план помещения.



Рисунок 1 – Наложённая расчетная сетка на план помещения

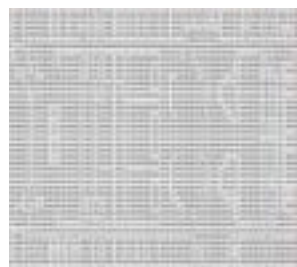


Рисунок 2 – Оцифрованный план помещения

На основе полученного двумерного массива был построен граф, в котором отображены две группы узлов: основные, являющиеся местоположением развилки дорог, и узлы, которые являются входом в кабинеты помещения.

Проделав подготовительную работу, была определена технология позиционирования. На сегодняшний день широкое распространение получили системы глобального позиционирования, такие как GPS и ГЛОНАСС. К основному недостатку таких систем относится невозможность использования в закрытых помещениях с большим количеством помех от корпуса здания и аппаратуры внутри помещения. Еще одним недостатком является увеличение стоимости оборудования за счет интеграции, например, GPS-приемника.

В связи с выявленными недочетами был проведен анализ других технологий, которые можно использовать для реализации метода позиционирования [2]. Были рассмотрены такие технологии, как Bluetooth, UWB, Wi-Fi, ZigBee. Основным критерием выбора технологии является минимизация затрат на внедрение технологии в зданиях. На основе этого анализа была выбрана технология локальных беспроводных сетей. Сети Wi-Fi в настоящее время нашли широкое применение в большинстве помещений.

На основе выбранной технологии были рассмотрены различные методы позиционирования, которые можно разделить на три группы [3]:

- 1 методы, основанные на определении местоположения мобильного устройства по углам относительно базовых станций;
- 2 методы, основанные на определении местоположения мобильного устройства по расстоянию от базовых станций;
- 3 методы, основанные на измерении силы сигнала.

Основным недостатком методов первой группы является необходимость использования нескольких антенн, вращающейся антенны или фазированной антенной решетки. Это приводит к невысокой точности определения местоположения мобильного устройства и изменению сетевой архитектуры при отсутствии необходимых устройств в помещении.

Для большинства методов второй группы основным недостатком является необходимость наличия синхронизации времени на всех базовых станциях и мобильных устройствах в помещении. Оставшиеся методы второй группы не используют синхронизацию по времени между базовыми станциями и мобильными устройствами. Вместо этого в данных методах базовые станции повторно отправляют электромагнитную волну, для проверки правильности математических расчетов и это приводит к сильному увеличению энергопотребления мобильным устройством.

В отличие от первых двух групп методов позиционирования, методы основанные на измерении силы сигнала обладают низкой стоимостью

реализации и малым энергопотреблением мобильным устройством, но обладают невысокой точностью позиционирования пользователя.

Для решения задачи позиционирования, был выбран метод из третьей группы использующий мощность сигнала принимаемого из точек доступа. Выбор данной группы обусловлен тем, что можно использовать для получения более быстрого отклика системы и адаптации к инфраструктуре уже имеющихся беспроводных сетей.

Были рассмотрены несколько методов из данной группы [4], наиболее простым из которых является метод Proximity, основанный на присваивании пользователю координаты той точки доступа, чей сигнал имеет наибольшую мощность. Явным недостатком является высокая погрешность, зависящая от параметра расстояния между точками доступа. Метод Centroid представляет собой вычисление геометрического центра плоской фигуры, образованной несколькими точками доступа, при простой реализации проявляет низкую точность. Данный метод может быть применим в качестве начального приближения для работы другого алгоритма. Метод Lateration основан на вычислении расстояний между искомой точкой и как минимум тремя точками доступа с дальнейшим решением системы из N нелинейных уравнений. При высокой точности данного метода главным недостатком является необходимость тщательного построения модели распространения сигнала в каждой конкретной среде, для каждой отдельной точки доступа. Основанный на сопоставлении с образцом, метод Fingerprint показывает высокую точность по сравнению с другими методами этой группы, однако необходимо постоянно переконфигурировать метод, каждый раз когда возникают изменения в помещении.

На основе анализа методов данной группы был реализован новый метод позиционирования, устраняющий недостатки методов Proximity и Lateration. Процесс определения местоположения начинается с получения системой данных с устройств доступа Wi-Fi и их сортировки по величине мощности сигнала. После этого на основе координат четырех ближайших устройств доступа Wi-Fi, вычисляется среднее арифметическое значение, являющееся возможным месторасположением пользователя. Далее относительно ближайшего устройства доступа Wi-Fi рассматриваются точки, находящиеся рядом с возможным месторасположением пользователя. Данные точки проверяются на соответствие с окружностью покрытия устройства доступа Wi-Fi. Набор соответствующих точек месторасположения пользователя сохраняется в массив. Далее этот массив тем же способом, анализируется относительно следующего ближайшего устройства доступа Wi-Fi. Так продолжается до тех пор, пока не останется одна возможная координата расположения пользователя.

На рисунке 3 красной точкой обозначено месторасположение пользователя; желтой точкой – возможное месторасположение пользователя; зеленой точкой – устройства доступа Wi-Fi; синей точкой – ближайшие устройства доступа Wi-Fi.



Рисунок 3 – Метод позиционирования

Для улучшения точности позиционирования данный метод используется вместе с датчиками, встроенными в мобильное устройство пользователя, и фильтром, позволяющим усреднить показания. Датчики, а именно акселерометр и компас, на основе построенного графа используются для предугадывания дальнейшего направления движения пользователя. Полученный результат обрабатывается фильтром, для отсекаания скачков в показаниях устройств точек доступа.

Для реализации этого метода позиционирования, были отмечены на оцифрованном плане помещения координаты точек доступа, а также измерена сила сигнала получаемого от точки доступа Wi-Fi вблизи устройства, а также, находясь в открытой местности и за преградой, на расстоянии от 1 до 20 метров. Для выполнения измерений было спроектировано приложение, позволяющие собирать данные мощностей сигналов ближайших устройств доступа Wi-Fi и сохранять их в текстовом файле. На настоящий момент проделано 35 испытаний, в каждом из которых было проведено по 15 измерений, в дальнейшем планируется проведение дополнительных испытаний. На рисунке 4 приведена часть результатов.

ENU Wireless, 48 0c 2e 00 7e 70 00, -89
ENU Wireless, 48 0c 2e 00 41 80, -90
AndroidWiFiData, c8 a7 30 8a ca c8, -87
00 28 7c d1 78 a1, -79
ENU Wireless, 44 8a 2c 00 29 00, -79
00 0c 2e 00 7e 70 00, -77

ENU Wireless, 48 c5 4f 05 0e 00, -72
ENU Wireless, 48 c5 4f 05 c8 80, -85
ENU Wireless, 44 8a 2c 00 7e 70, -73
ENU Wireless, 48 c5 4f 05 0e 00, -74
ENU Wireless, 48 c5 4f 05 0e 00, -52
ENU Wireless, 00 28 7c d1 78 a1, -74
ENU Wireless, 44 8a 2c 00 7e 70, -43
ENU Wireless, 48 0c 2e 00 7e 70, -59
ENU Wireless, 48 c5 4f 05 0e 00, -42
ENU Wireless, 48 0c 2e 00 8a 80, -74
ENU Wireless, 48 c5 4f 05 0e 00, -74
ENU Wireless, 48 c5 4f 05 0e 00, -80

Рисунок 4 – Полученные результаты измерений

Определив во время запуска начальные координаты местоположения пользователя, приложение предлагает задать точку назначения. На основе полученных точек вычисляются возможные пути перемещения, и среди них выбирается самый оптимальный для пользователя. Для реализации алгоритма навигации был проведен анализ существующих алгоритмов навигации [5].

Были рассмотрены следующие алгоритмы, наиболее простым является алгоритм поиска в ширину. Данный алгоритм анализирует соседние узлы стартовой точки, затем продолжает процесс для соседних узлов проверенных точек, пока цель не будет достигнута. Недостатком является равномерный поиск во всех направлениях от стартовой точки. Алгоритм поиска пути Дейкстры имеет два преимущества по сравнению с алгоритмом поиска в ширину, алгоритм принимает во внимание длину пути и обновляет узлы, если к ним найден лучший путь. Как и у алгоритма поиска в ширину, недочетом является равномерный поиск по всем направлениям от стартовой точки. Алгоритм «лучший-первый» – это первый рассматриваемый эвристический поиск, который принимает во внимание знания о пространстве поиска для направления своих усилий. Данный алгоритм является быстрым из рассмотренных ранее, но он не принимает во внимание накопленную стоимость пути, направляясь по прямой через зону с высокой стоимостью, а не обходя ее. Наилучшим алгоритмом для поиска оптимальных путей является A*. Данный алгоритм сочетает в себе учет длины предыдущего пути из алгоритма Дейкстры с эвристикой из алгоритма «лучший-первый». Качество работы алгоритма сильно зависит от

качества эвристического приближения и от наличия ресурсов в устройстве пользователя.

На рисунке 5 изображен процесс работы разработанного алгоритма нахождения пути Jump Point Search, основанного на проделанном анализе и являющимся измененной версией популярного алгоритма поиска пути A*, который использует эвристическую функцию в вычислениях.

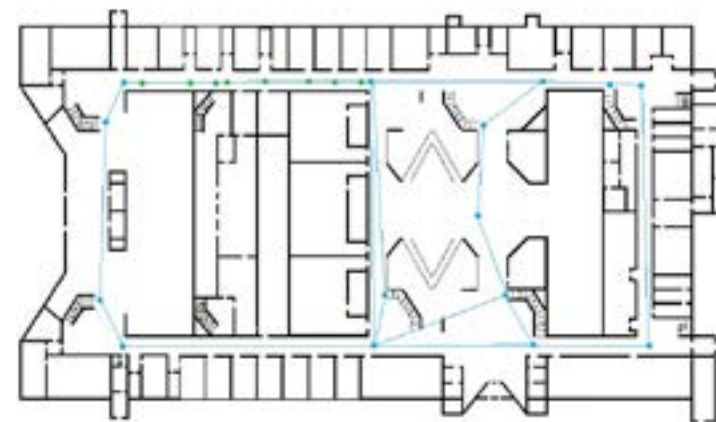


Рисунок 5 – Алгоритм навигации

Главным достоинством разработанного аналога по сравнению с алгоритмом A* является ускорение поиска пути. В отличие от подобных алгоритмов не требует предварительной обработки и дополнительных затрат памяти.

ВЫВОДЫ

Разработанное программное обеспечение позволяет ускорить процесс освоения помещения, с помощью использования автоматической системы навигации по зданиям. По запросу пользователя система определяет оптимальный путь до заданной точки и отображает результат на экран мобильного устройства.

В дальнейшем планируется разработка мобильного приложения с элементами дополненной реальности, позволяющее использовать данное приложение в любом месте на мобильных устройствах и визуализировать процесс навигации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Шлыков, А. А., Абрамова, О. Ф. Исследование проблемы навигации внутри современных зданий со сложной архитектурой // Современная техника и технологии. – 2014. – № 2. [Электронный ресурс]. – URL: <http://technology.snauka.ru/2014/02/3085>.

2 Осколкова, А. Технологии локального позиционирования. [Электронный ресурс]. – URL: <https://habrahabr.ru/company/rtl-service/blog/281837/>.

3 Методы локального позиционирования. [Электронный ресурс]. – URL: <https://habrahabr.ru/company/rtl-service/blog/301706/>

4 Миниахметов, Р. М., Рогов, А. А. Обзор алгоритмов локального позиционирования для мобильных устройств // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2013. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-algoritmov-lokalnogo-pozitsionirovaniya-dlya-mobilnyh-ustroystv>

5 Bryan Stout. Алгоритмы поиска пути // пер. Максим Каменский, 2000 [Электронный ресурс]. – URL: <http://pmg.org.ru/ai/stout.html>

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

B. S. Stepanov¹, N. S. Glazyrina²

Гимараттың ішінде бағдарлауға арналған қосымшаны дамыту

^{1,2}Ақпараттық технологиялар факультеті,

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті,
Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы.

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

V. S. Stepanov¹, N. S. Glazyrina²

Development of an application for navigation in the room

^{1,2}Faculty of Information Technologies,

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, 010000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 17.08.18.

Бұл мақала күрделі құрылымы бар заманауи ғимараттарда бағдарлау мәселесін зерттеуге арналған. Біріншіден бұл жұмыста дайындық жұмыстарына аса назар аударылды және қосымшаны одан әрі дамыту үшін бөлме құрылымына санау жүйесі орнатылды. Жаһандық және жергілікті позициялау технологиялары

қарастырылды және олардың кемшіліктері мен артықшылықтары анықталды. Өзін - өзі позициялау әдістері талданды және алынған талдау негізінде, қосымшаны іске асырудың меншікті әдісі әзірленді. Сондай-ақ, қысқа жолды табудың әртүрлі алгоритмдері талданды және ғимарат ішінде навигацияға арналған қосымшаны жасау талаптарын қанағаттандыруға арналған алгоритм жобаланған болатын. Әзірленген бағдарлама үлкен ғимараттарға сирек келетін адамдарға ғимараттарды табуды жеңілдетеді. Мақала ғимараттың ішіндегі бағдарлауды дамыту саласында жұмыс істейтін адамдарға қызықты болады.

This article is devoted to studying the problem of navigation inside modern buildings with a complex structure. In the first part of the article attention is paid to the preparatory work done, in particular the digitization plan of the premises for further development of the application. The paper considers global and local positioning technology and reveals their advantages and disadvantages. Current methods of positioning were analyzed. According to the results, the own way of application implementation were developed. Also, various algorithms for finding the shortest path were identified. In accordance with the requirements for developing an application for navigating indoors, an algorithm was developed. This application will help people who rarely visit the buildings with complex architecture to navigate there easier. The article will be of interest to people who work in the field of developing navigation inside the premises, as well as related industries.

**Г. О. Сулейменова¹, С. М. Балтымов²,
Ф. С. Ыбраева³, Ж. Г. Абдраманова⁴**

¹техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, «Электр жабдықтарын пайдалану» кафедрасы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

²техника ғылымдарының магистрі, ассистент, «Электр жабдықтарын пайдалану» кафедрасы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

³студент, Энергетика факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

⁴студент, Энергетика факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы
e-mail: ¹gulmira--84@mail.ru; ²salamat-1991@mail.ru;

³fatima.ybrayeva@mail.ru; ⁴zhibeka.abdramanova97@mail.ru

БАТЫС ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ЖЕЛ ЭНЕРГИЯСЫН ҚОЛДАНЫЛУЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІ

Бұл мақалада Батыс Қазақстандағы жел энергиясының қолданылуының тиімділігі қарастырылды. Жел энергиясы ресурстарын Қазақстанның желдерінің әр бөліктеріндегі жел энергиясының қуаттары бірдей, Батыс Қазақстан облысы Каспий теңізінің жағалауымен шектесетін аймақтағы желдер үлкен қуатқа ие байқауға болады және желдің пайда болу режиміндегі шамалы ауытқулардың болуы зерттеу нәтижелерінде көрсетілген. Қазақстан Республикасының табиғи-климаттық жағдайына жасалған сараптамасы бойынша жел энергиясының потенциалы ең жоғары аймақ Батыс Қазақстан облысы екендігі, желдің орташа айлық жылдамдығын формула арқылы анықтау нәтижесінде желдің қарқындылығы, жел электр генераторының орташа айлық өндірілген энергиясы кестеде көрсетілген. Мақалада жел электр қондырғысының орналасуына қойылатын талаптарға сәйкес Батыс Қазақстан аумағына электр энергиясын өндіру мүмкіндігін бар екендігі қарастырылған.

Кілтті сөздер: жел энергиясы, электр, қуат, табиғи – климат, энергия көздері, ресурс.

КІРІСПЕ

Әлемдік энергетикалық дамудың жаңа тенденциясы – электр энергиясын орталықтандырылмаған өндірісінің үлесін арттыру және экологиялық таза электр станцияларын қыздыру болып табылады. Бұл үрдіс бір жағынан, отын және энергиямен жабдықтауды орталықсыздандыру тұтастай өңірдің және еліміздің энергетикалық қауіпсіздігін арттырады, екінші жағынан, климаттың өзгеруі және парниктік газдарды шығару мөлшерін азайтуға мүмкіндік береді және Киото хаттамасын орындауға қажеттілік туралы түсіндіруге болады.

Қазақстанның жел энергетикасының дамуы, әлемдік энергетикалық өндірістегі қайта жаңаратын энергия көздерінің үлесін арттыруға бағытталған. 2018–2020 жылдар аралығында жел электр станцияларының жаппай құрылысының басталуы күтілуде. Бүгінгі таңда Қазақстанда жел парктерін салу бойынша жұмыстар жүргізіліп жатыр. Қазіргі уақытта жаңартылатын энергияның жалпы электр энергиясын өндірудегі үлесі 0,5 % құрайды, бірақ 2018 жылы бұл көрсеткіш 1 %, ал 2020 жылға қарай – 3 % деп жоспарлануда. Жаңартылатын энергия көздерін дамытудағы маңызды кадам ретінде 2016 жылы «Жаңартылатын энергия көздерін пайдалануды қолдау туралы» Қазақстан Республикасының Заңын қарастыруға болады. Бұл заң осы салаға инвестицияларды ынталандыруға көмектесетін «Қайта жаңаратын энергия көздеріне» мемлекеттік қолдау көрсетудің құқықтық негізін береді.

НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Жел энергиясы ресурстарын зерттеу нәтижелері бойынша Қазақстанның желдері солтүстік-батыс, орталық және солтүстік-шығыс бөліктерінде жел энергиясының қуатының бірдей екендігін байқауға болады, ал желдің пайда болу режимінде шамалы ауытқулар бар.

Жел энергиясын пайдаланудың келешегі тиісті жел энергиясының болуымен анықталады. Қазақстан жел ресурстарына ерекше бай. Қазақстан шамамен 50 % 4–5 м/с желдің орташа жылдық жылдамдығы бар, ал бірқатар аудандарда 6 м/с жел жылдамдығы немесе одан көп.

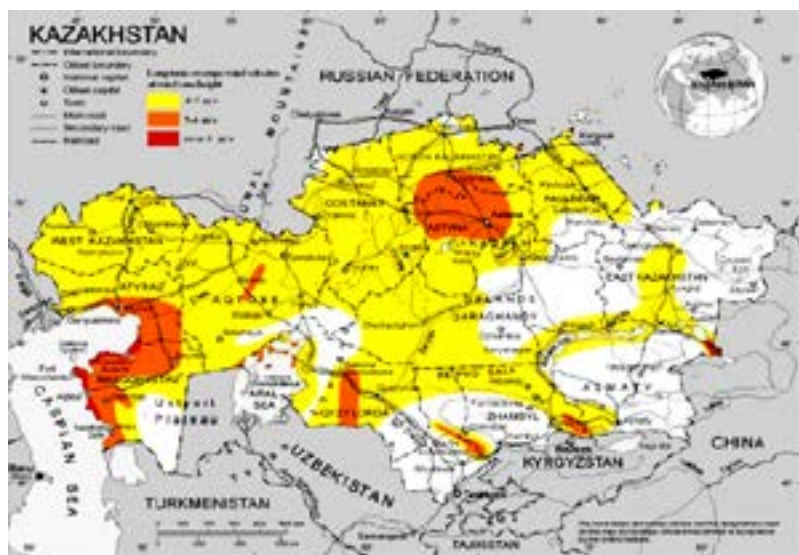
Кесте 1 – Қазақстан Республикасы аумағындағы жел энергиясы ресурстары

№ р/н	Аймақ	Ауданы, км ²	Потенциалды ресурстар, кВт·сағ	ЖЭҚ ПЭК-ін ескергенде, млрд кВт·сағ
1	Ш. Қазақстан	2771,1	3000	30
2	Оңт.- Шығыс	223,2	3100	31
3	Оңтүстік	499,9	5600	56

4	Солтүстік	237	2700	27
5	Орталық	762,2	9100	91
6	Батыс	7292	8800	87

ҚР табиғи-климаттық жағдайына жасалған сараптамасы бойынша тек 2–3 % аймақта желдің жылдық орташа жылдамдығы 5 м/с-тан жоғары. Сәйкесінше Қазақстанның көп бөлігінде (90–95 % аймақта) қайта жаңартатын энергия көздерін қолдану тиімсіз, кейбір бөліктерінде жел жылдамдығы 12–15 м/с құрайды.

Қазақстан Республикасының жел потенциалы 1 суретте көрсетілген.



Сурет 1 – ҚР жел энергетикалық картасы

Келешегі зор аудандардан Ерементәу (Ақмола обл.), Форт Шевченко (Каспий теңізі жағалауы), Қордай (Жамбыл обл.) және т.б (1 – суретке қарай отырып) айтуға болады. Сонымен қатар бірінші кестеден көріп тұрғанымыздай жел энергиясының потенциалы ең жоғары аймақ Батыс Қазақстан облысы болып табылады. Басқа аймақтарға қарағанда ауданы жағынан 7292 км² құрайды. Мысалы: Орталық Қазақстанмен салыстырғанда, шамамен аумағы 10 есе үлкен болып келеді. Батыс Қазақстан облысының аумағы жалпы Қазақстан бойынша 61,9 % пайызды құрайды. Жел энергетикалық ресурстарының потенциалына келетін болсақ 8800 кВт·сағ болып бағаланады. Бірақ Орталық Қазақстаннан 3000 кВт·сағ төмен,

бұл айтарлықтай үлкен айырмашылық емес. Жалпы Қазақстан бойынша 27,3 % пайызын құрайды. Орналасуына қойылатын талаптар және жел электр қондырғысының ПЭК-ін ескере отырып, Батыс Қазақстан аумағында 87 млрд кВт·сағ электр энергиясын өндіру мүмкіндігі бар.

Кесте 2 – Жер бетінен 50 м биіктікте орташа айлық жел жылдамдығы

Ай	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
v, м/с	6,08	6,28	6,01	5,62	5,48	5,52	5,08	5,22	5,24	5,60	5,92	5,84

Қуаттарды ЖЭҚ-ның орташа жылдық өндірудің электр энергиясын мына формула бойынша есептелінеді, кВт·сағ:

$$W_{\text{орташа}} = W_{\text{орташа}(1)} + W_{\text{орташа}(2)} + W_{\text{орташа}(3)} + W_{\text{орташа}(4)} + W_{\text{орташа}(5)} + W_{\text{орташа}(6)} + W_{\text{орташа}(7)} + W_{\text{орташа}(8)} + W_{\text{орташа}(9)} + W_{\text{орташа}(10)} + W_{\text{орташа}(11)} + W_{\text{орташа}(12)}$$

ЖЭҚ-ның электр энергиясын өндірудің орташа айлық көрсеткішін төмендегі формуламен анықтауға болады, кВт·сағ:

$$W_{\text{орташа}(i)} = P_{\text{орташа}(i)} \cdot T_{\text{аб}} \cdot t$$

Жылдық тиімділігін ашып көрсету үшін «Ерейментау ЖЭС» қолданылатын Fuhrländer FL 2500, WDU 2.5 жел электр қондырғысы мысалында есептеулер жүргізіп, тиімділігін анықтаймыз.

Кесте 3 – Қуаты 2,5 МВт ЖЭҚ-ның техникалық сипаттамалары

Моделі	Fuhrländer FL 2500
Номиналды қуаты (кВт)	2500
Номиналды кернеуі (В)	690 (50/60 Гц)
Жел дөңгелегінің диаметрі (м)	90/100/104
Бастап жылдамдығы (м/с)	3,5 – 4,0
Номиналды желдің жылдамдығы (м/с)	10
Қорғау режимі (м/с)	25
Қалақтарының номиналды айналу жиілігі (об/мин)	10,4 – 17,1
Электргенератордың типі	Фазалық роторы бар қосарлы қуат көзімен асинхронды қондырғы

Қалақтар саны	3
Өндіруші ел	Германия

2-кестеге сүйене отырып, формуланы пайдалану барысында қыс айларында желдің қарқыны 4,5–5 м/сек-қа жетедіндігін анықтауға болады. Әсіресе ақпан мен наурыз айларында күшті жел соғып, қарлы боран мен бұрқасын ұйтқиды. Ал жазғы кезеңде 3,4–4,5 м/сек. болады. Осы айларда ызғар етіп, атмосфера және топырақ құрғақшылығы артып, шандық пен құм борататын екпіні шамамен 15 м/сек асатын күшті дауылдар соғады. Осыларды ескере келе Батыс Қазақстан облысында жел энергиясын пайдалану тиімді екенін көруге болады. Себебі: Біздің елдің Климаты шұғыл континентальды. Әсіресе осы Батыс Қазақстан облысы Каспий теңізінің жағалауымен шектесетін аймақтағы желдер үлкен қуатқа ие. Және ашық қоныстанбаған аумақтар, теңіз, көлдер де бар. Екіншіден, жел қондырғылары теңіздерде, көлдерде, ашық, адамдар тұрмайтын аймақтарда салынуы тиіс. Ғалымдардың айтуы бойынша желэнерго қондырғылары жұмыс істеу үшін желдің жылдық орташа жылдамдығы 3,5–4м/с кем болмауы керек. Ал біздің Республикамызда соғатын жел жылдамдығы 3,5–6 м/с дейін жетеді. Осының барлығын зерттей отырып, жел энергиясын алу біздің аймаққа каншалықты тиімді екенін көруге болады.

Кесте 4 – Fuhrländer FL 2500 ЖЭЖ-ның орташа айлық көрсеткіштері

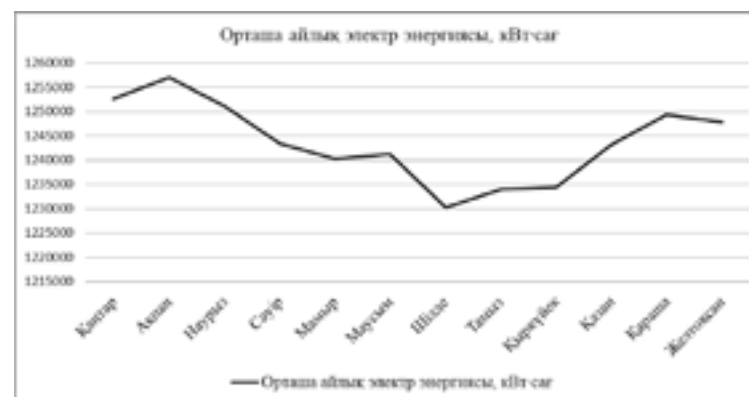
Ай	Орташа айлық өндірістік қуаты, кВт	Орташа айлық электр энергиясы, кВт·сағ
Қаңтар	1683,72	1252685,18
Ақпан	1870,5	1256982,1
Наурыз	1681,65	1251149,2
Сәуір	1727,004	1243443
Мамыр	1667,12	1240339,63
Маусым	1723,95	1241246,31
Шілде	1653,67	1230329,01
Тамыз	1658,64	1234028,21
Қыркүйек	1714,54	1234473,03
Қазан	1670,87	1243132,65
Қараша	1735,32	1249426,91
Желтоқсан	1677,23	1247862,57

Қуаты 2500 кВт ЖЭЖ-ның орташа жылдық өндірудің электр энергиясын мына формула бойынша есептелінеді, кВт·сағ:

$$W_{\text{орташа}} = W_{(1)} + W_{(2)} + W_{(3)} + W_{(4)} + W_{(5)} + W_{(6)} + W_{(7)} + W_{(8)} + W_{(9)} + W_{(10)} + W_{(11)} + W_{(12)} = 1683,72 + 1870,5 + 1681,65 + 1727,004 + 1667,12 + 1723,95 + 1653,67 + 1658,64 + 1714,54 + 1670,87 + 1735,32 + 1677,23 = 20464,214$$

Қуаты 10 кВт ЖЭЖ-ның орташа айлық өндірудің электр энергиясын табамыз, кВт·сағ:

$$W_{\text{орташа(1)}} = P_{\text{орташа(1)}} \cdot T_{\text{ай}} \cdot t = 1683,72 \cdot 31 \cdot 24 = 1252685,18$$



Сурет 2 – Жел электр генераторының орташа айлық өндірісі, кВт·сағ

ҚОРЫТЫНДЫ

Жел энергиясы – жел энергиясын механикалық, жылу немесе электр энергиясына түрлендірудің теориялық негіздерін, әдістері мен техникалық құралдарын жасаумен айналысатын жаңартылатын энергетиканың саласы. Ол жел энергиясын халық шаруашылығына ұтымды пайдалану мүмкіндіктерін қарастырады. Елімізде арзан электр энергия көздерін іздеу мақсатында, «Қазақстанда 2030 жылға дейін электр энергиясын өндіруді дамыту туралы» мемлекеттік бағдарламаға сәйкес, жел күшімен өндіретін электр энергиясы қуатын халық шаруашылығына қолданудың тиімді жолдары қарастырылуда. Қазақстанда жел күшімен алынатын электр энергиясы қуатын кеңінен және мол өндіруге болады.

Жел жылдамдығы – желқондырғысының энергия өндіруіне әсер ететін маңызды өлшемі болып табылады. Желдің үлкен жылдамдығы ауа массасының ағынының көлемін үлкейтеді. Жел энергиясы жел

жылдамдығының кубына тура пропорционал өзгереді. Ендеше, ротордың кенетикалық энергиясы жел жылдамдығын екі есе үлкейткенде 8 есе артады.

ҚР-дағы потенциалды жел энергетикалық ресурстарына негізделі (1 кесте) отырып, біз энергия тиімді өңірлер деп орталық және батыс Қазақстан облыстары болып табылатынын тұжырымдаймыз.

Жел электр станцияларын қолданудың экономикалық тиімділігі үшін үш негізгі шарт орындалуы керек:

- жел ағындарының потенциалды энергетикалық ресурстарын анықтау;
- өндірілген энергияны пайдалану мақсаттарын белгілеу;
- дәстүрлі энергия көздерінен келетін энергияны салыстырғандағы бұл энергияның құны.

Жел электр қондырғыларын пайдаланудың экономикалық тиімділігі 1 кВт белгіленген қуаттылыққа келтірілген жылдық шығындармен анықталады және электрмен жабдықтау көзінің орналасу қашықтығына байланысты болады. Тікелей пропорционалдық қатынасы қарастырылады: жел электр қондырғыларының номиналды қуатын арттыру олардың пайдалану қашықтығының артуына алып келеді.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Қазақстанская электроэнергетическая ассоциация. Комитет по Возобновляемым Источникам Энергии [Электронды ресурс]. – <http://www.windenergy.kz>.

2 Национальная Программа развития ветроэнергетики в Республике Казахстан до 2015г. с перспективой до 2024 г.

3 **Шефтер, Я. И.**, Использование энергии ветра. 2-е изд. перераб. и доп. М. : Энергоиздат, 2013. – 200 с.

4 «Жел энергетикасы» пәні бойынша: оқу-әдістемелік кешені / А. Х. Тлеуов ; Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрлігі. – Астана : С. Сейфуллин атындағы ҚазАТУ, 2010. – 98 б.

5 **Бетц, А.**, Энергия ветра и её использование посредством ветряных двигателей: Пер. с нем. / Под ред. Д. М. Беленького. Харьков, 2013. – 53 с.

6 Интернет ресурсы: <https://ua.all.biz/ustanovka-vetroenergeticheskaya-f-2500-g11777260>

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

Г. О. Сулейменова¹, С. М. Балтымов², Ф. С. Ыбраева³, Ж. Г. Абдраманова⁴
Эффективность применения энергии ветра в Западном Казахстане

^{1,2,3,4}Энергетический факультет,

КазАТУ имени С. Сейфуллина,

г. Астана, 010000, Республика Казахстан.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

G. O. Suleimenova¹, S. M. Baltymov², F. S. Ybraeva³, Zh. G. Abdramanova⁴
The effectiveness of utilizing wind energy in the Western Kazakhstan

^{1,2,3,4}Energy Faculty,

S. Sefullin Kazakh AgroTechnical University,

Astana, 010000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 17.08.18.

В этой статье рассматриваются вопросы эффективности ветровой энергии в Западном Казахстане. Энергетические ресурсы ветра эквивалентны ветроэнергетической мощности в каждой части ветровых линий Казахстана, в западно-казахстанской области граничащего с Каспийским морем, можно увидеть что энергия ветра очень высокая и наличие незначительных отклонений в моделях ветра отражено в результатах исследования. Согласно анализу природно-климатических условий Республики Казахстан самым высоким потенциалом энергии ветра является Западно-Казахстанская область, в результате определения среднемесячной скорости ветра определяется интенсивность ветра и среднемесячная произведенная энергия ветрогенератора, которая приведена в таблице. В статье предусматривается, что в соответствии с требованиями к расположению ветроэлектрической установки существует потенциал для производства электроэнергии в Западно-Казахстанской области.

In this article, we examined the effectiveness of wind energy in Western Kazakhstan. Wind energy resources are equivalent to wind power in each part of Kazakhstan's wind lines, in the West Kazakhstan region bordering the Caspian Sea, one can see that wind energy is very high and the presence of minor deviations in wind patterns is reflected in the results of the study. According to the analysis of the natural and climatic conditions of the Republic of Kazakhstan, the highest wind potential in the West Kazakhstan

region is the wind intensity and the average monthly production of the wind generator as a result of determining the average monthly wind speed. The article provides that, in accordance with the requirements for the location of the wind power station, there is potential for electricity production in the West Kazakhstan region.

ГРНТИ 44.37.29

**Г. О. Сулейменова¹, С. М. Балтымиев²,
Ф. С. Ыбраева³, Ж. Г. Абдраманова⁴**

¹м.т.н., ст. преподаватель, кафедра эксплуатации электрооборудования, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

²м.т.н., ассистент, кафедра «Эксплуатации электрооборудования», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

³студент, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

⁴студент, энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан

e-mail: ¹gulmira--84@mail.ru; ²salamat-1991@mail.ru;

³fatima.ybrayeva@mail.ru; ⁴zhibeka.abdramanova97@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ НАГРЕВА ВОДЫ В АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье рассматриваются вопросы обоснования эффективности использования энергии солнечного излучения для нагрева воды. Дано основное определение солнечного коллектора, а также принцип действия и конструкция. Уделено большое внимание к плоским коллекторам, так как они имеют хорошие эксплуатационные характеристики, низкие тепловые потери. Лабораторный стенд для измерения количества поступающей солнечной энергии на поверхность коллектора включает в себя: плоский коллектор, блок управления, насос для принудительной циркуляции, металлогалогенные лампы для имитации солнечного излучения. Приведена методика расчета количества поступающей солнечной энергии, максимальное значение плотности солнечной радиации и определение склонения по формуле Купера. В результате проведения расчетов по экспериментальным данным построили гистограмму эффективности работы солнечного коллектора.

Ключевые слова: солнечный коллектор, климат, тепловая энергетика, радиация, тепловые потери.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время под воздействием инновационных процессов формируется новая структура энергетики мира. Данная тенденция отражает характерные черты развивающегося постиндустриального общества, которая характеризуется ростом и распространением информационных технологий и снижение энергопотребления и ресурсоемкости в отраслях материального производства. В отличие от индустриальной экономики новые технологические решения не требуют таких же количеств не возобновляемых природных ресурсов и энергии. Намечилась тенденция прекращения роста энергопотребления на душу населения в развитых странах. В последнее 30-летие душевое энергопотребление в них оставалось практически неизменным.

Для различных практических целей (сельское хозяйство, строительство, медицина, гелиоэнергетика и т.д.) и ряда теоретических расчетов необходимы данные распределения по территории солнечной радиации. Однако расстояния между ближайшими станциями актинометрической сети обычно измеряются сотнями, а иногда и тысячами километров. Для многих районов земного шара данные о радиационном режиме полностью отсутствуют вследствие редкой актинометрической сети. Нередко оказывается, что в интересующем исследователя пункте или районе вообще не производилось актинометрических наблюдений или же не велись наблюдения за теми элементами, данные о которых становятся необходимыми [1].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Солнечный коллектор – устройство для сбора тепловой энергии Солнца, переносимой видимым светом и ближним инфракрасным излучением. В отличие от солнечных батарей, производящих непосредственно электричество, солнечный коллектор производит нагрев материала-теплоносителя [2].

Высокопроизводительные солнечные коллекторы специально разработаны для работы в условиях холодного климата и отрицательных температур. Солнечные коллекторы в комплекте с баками – накопителями и интеллектуальной автоматикой способны вырабатывать значительное количество тепловой энергии. Выработанная тепловая энергия может использоваться для нужд горячего водоснабжения (ГВС), поддержки основной системы отопления.

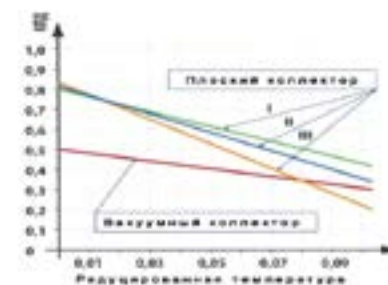


Рисунок 1 – Тепловые характеристики солнечного коллектора

Конструкция солнечного коллектора и используемые в ней материалы влияют на его эффективность. КПД коллектора определяется отношением полезной энергии, принимаемой теплоносителем, к лучистой энергии, воздействующей на отведенную площадь [3].

У коллекторов, используемых в системах ГВС, тепловые характеристики сильно зависят от сезона, поскольку они используются практически круглогодично. Зимой, когда плотность лучистой энергии и наружная температура очень низкие, возникают значительные теплотери. Поэтому плоские коллекторы, диаграммы которых имеют большой наклон линии КПД, в системах ГВС лучше не использовать. Гораздо меньшие теплотери имеют вакуумные коллекторы, однако стоят недешево. Если же коллекторы используются только в теплое время года, то их теплотери могут быть выше.



Рисунок 2 – Карта солнечного излучения Республики Казахстан

В качестве лабораторного исследования был применен учебный стенд «Управляемое компьютером базовое устройство тепловой солнечной энергии», что позволяет упростить измерения температуры воды при нагреве от солнечного излучения.

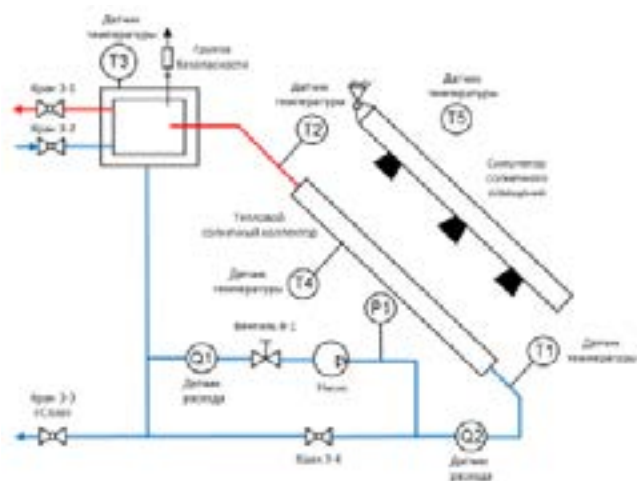


Рисунок 3 – Структурная схема лабораторного стенда

Для расчетов количества поступающей солнечной энергии необходимо знать углы падения солнечных лучей на наклонную и горизонтальную поверхности в данной точке. Положение некоторой точки А на земной поверхности определяется тремя основными углами – широтой φ, склонением δ и часовым углом ω (рис. 4 а) [4].

Таблица 1 – Месячный приход прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность H_D, МДж/м²

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
H _D , МДж/м ²	151	226	436	582	737	775	746	645	478	327	180	117

Угол между направлением к Солнцу и экваториальной плоскостью называется склонением δ и является мерой сезонных изменений. Мысленно проведем линию от центра Земли до Солнца, пересекающую поверхность Земли в точке Р на рис. 4 б. В этом случае δ представляет собой угол φ на рис. 4. Таким образом склонение есть широта точки, для которой Солнце находится в зените в полдень по солнечному времени. Как следует из

рис. 2.4, в северном полушарии δ плавно меняется от δ₀ = + 23,5° в период летнего солнцестояния до δ₀ = – 23,5° в период зимнего солнцестояния. Оно равно нулю в дни весеннего и осеннего равноденствия. Аналитически получено (формула Купера) [5]: (Январь)

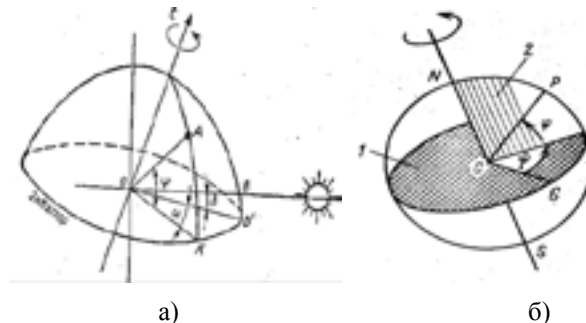


Рисунок 4 – Схема определения широты φ и долготы ψ:
1 – экваториальная плоскость; 2 – меридиальная плоскость

$$\delta_1 = \delta_0 \sin [360^\circ (284 + n)/365] = 23.45 \sin [360^\circ (284 + 15/365)] = 23.45 \sin [295] = -21.3^\circ,$$

где n – день года (n=1 соответствует 1 января).

Продолжительность дня между восходом и закатом Солнца определяется следующим образом: (Январь)

$$T_{c1} = (2|15)\cos^{-1}(-\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta_1) = (2|15)\cos^{-1}[-\operatorname{tg} 50^\circ \operatorname{tg} (-21.3^\circ)] = (2|15)\cos^{-1}[-1.19 (-0.39)] = 8.3.$$

Суточный приход суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность определяется выражением, МДж/м²: (Январь)

$$H_{D_{\text{сут}}} = H_{D_{\text{мес}}} / N = 151 / 31 = 4.87$$

где H_{D_{мес}} – месячный приход прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность (табл. 2.5); N – количество дней месяца.

Максимальное значение плотности солнечной радиации можно определить через суточное поступление прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность, Вт/м²: (Январь)

$$I_{\text{hmax}} = (\pi / 2 \cdot T_{c1}) H_{D_{\text{сут}}} = (3.14 / 2 \cdot 8.3) 4.87 = 236$$

Таблица 2 – Результаты расчета суточного поступления прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность, Вт/м²

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I_{hmax} , Вт/м ²	236	359	513	625	679	698	666	637	558	439	299	211

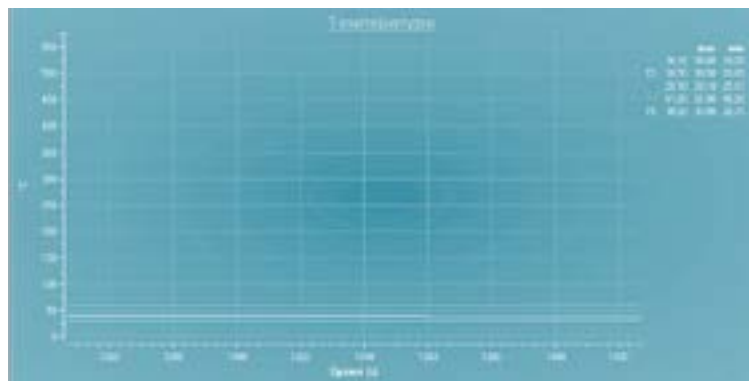


Рисунок 5 – Температура нагрева воды в узлах лабораторного стенда E-lab

Желательная доля покрытия гелиоустановкой является расчетным параметром, который в решающей степени определяет размеры поверхности коллектора и объема накопителя. Он описывает долю потребности в теплоте, которая должна покрываться гелиосистемой. В то время как летом возможно и типично стопроцентное покрытие потребности в тепле гелиоустановкой, зимой возможная степень покрытия значительно сокращается из-за незначительности падения лучей.

Хотя соответствующее увеличение поверхности коллектора позволяет повысить зимнюю степень покрытия, это приводит к появлению соответствующих излишков в летние месяцы, которые наряду с низкой экономической рентабельностью приводят к ненужной тепловой нагрузке на всю установку.

В результате проведения расчетов и эксперимента строим гистограмму.

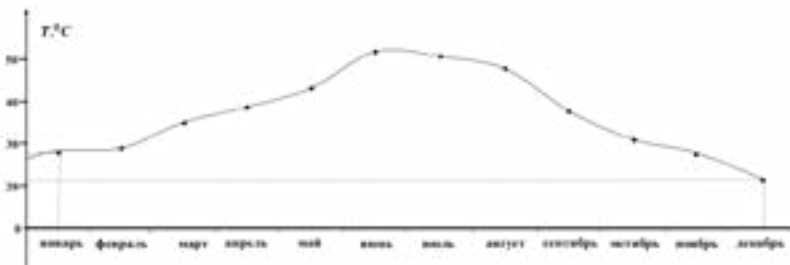


Рисунок 6 – Эффективность работы СК

ВЫВОДЫ

Цель исследований – обоснование эффективности использования энергетических характеристик солнечной радиации и основных технических характеристик систем солнечного теплоснабжения с учетом метеорологических условий Акмолинской области, а так же получение функциональных зависимостей. В качестве исходных данных при гелиоэнергетических расчетах используются климатологические характеристики солнечного излучения.

Солнечные коллекторы (СК) это технические устройства, предназначенные для прямого преобразования солнечного излучения в тепловую энергию в системах теплоснабжения для нагрева воздуха, воды или других жидкостей. По способу использования солнечной радиации системы солнечного низкотемпературного отопления подразделяют на пассивные и активные. Солнечные коллекторы должны изготавливаться в соответствии с техническими требованиями настоящего стандарта, технических условий на солнечные коллекторы конкретных типов по рабочим чертежам, утвержденным в установленном порядке.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- наибольший приход солнечной радиации на наклонную поверхность получается при углах наклона коллектора к горизонту $s=\varphi\pm 15$.
- для получения максимальной теплопроизводительности гелиоустановок плоский коллектор солнечной энергии необходимо располагать под углом к горизонту равным $s=\varphi\pm 15$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Nikolaev, A. A.** Indirect methods of calculating characteristics of solar radiation // Computer Science, Theory & Methods. 2013. – № 1. P. 130–135.

2 **Тлеуов, А. Х., Садуақасова, Г. Б., Ключева, П. Ю.**, Применение возобновляемых источников энергии в Республике Казахстан. Ч.1. Гелиоэнергетика – Астана : АО «КАТУ им. С. Сейфуллина», 2011. – 227 с.

3 ВСН 52–86. Установки солнечного горячего водоснабжения. Нормы проектирования. – М. : Госгражданстрой СССР, 1987.

4 **Харченко, Н. В.**, Индивидуальные солнечные установки. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.

5 **Бекман, У., Клейн, С., Даффи, Дж.**, Расчет системы солнечного теплоснабжения. – М. : Энергоиздат, 1982. – 80 с.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

Г. О. Сулейменова¹, С. М. Балтымов², Ф. С. Ыбраева³, Ж. Г. Абдраманова⁴
Ақмола облысында суды жылыту үшін күн радиациясының энергиясын пайдалану тиімділігіне негіздеме

^{1,2,3,4}Энергетика факультеті,

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы.

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

G. O. Suleimenova¹, S. M. Baltymov², F. S. Ybraeva³, Zh. G. Abdramanova⁴
Substantiation of solar energy use efficiency for water heating in Akmola region

^{1,2,3,4}Energy Faculty,

S. Sefullin Kazakh AgroTechnical University,

Astana, 010000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 17.08.18.

Мақалада суды жылыту үшін күн радиациясының энергия тиімділігін негіздеу мәселелері қарастырылады. Күн коллекторының негізгі анықтамасы, сондай-ақ әрекет ету принципі және құрылымы берілген. Тегіс коллекторларға үлкен көңіл бөлінеді, өйткені олар жақсы көрсеткіштерге ие, жылу жосалту қасиеттері әлдеқайда төмен. Коллектордың бетіне түсетін күн энергиясының мөлшерін өлшеу үшін зертханалық стендке мыналар кіреді: жалпақ коллектор, басқару блогы, мәжбүрлі айналымға арналған сорғы, күн радиациясын имитациялау үшін металл галогендік шамдар. Түсетін күн энергиясының көлемін есептеу әдістемесі, күн радиациясының тығыздығының максималды мәні және Купер формуласына сәйкес анықтамасы берілген. Эксперименттік деректерге негізделген

есептердің нәтижесінде күн коллекторының тиімділігінен гистограмма құрылды.

In the article the questions of substantiation of solar radiation energy use efficiency for water heating are considered. The basic definition of a solar collector, as well as the principle of action and design, is given. Great attention is paid to flat collectors, since they have good performance characteristics, low heat loss. The laboratory bench for measuring the amount of incoming solar energy to the collector surface includes: a flat collector, a control unit, a pump for forced circulation, metal halogen lamps for simulating solar radiation. The methodology for calculating the amount of incoming solar energy, the maximum value of the density of solar radiation and the definition of declination according to Cooper's formula are given. As a result of calculations based on experimental data, a histogram of the efficiency of the solar collector was constructed.

**Д. Е. Ускенбаев¹, А. С. Ногай², Э. Ж. Алимкулова³,
Е. Алкожа⁴, Г. А. Мухамедрахимова⁵, Б. Б. Исабекова⁶**

¹доктор PhD, ст. преподаватель, кафедра «Радиотехники, электроники и телекоммуникации», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

²д.ф.-м.н., профессор, кафедра «Радиотехники, электроники и телекоммуникации», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

³к.п.н., зав кафедрой «Физики и химии», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

⁴магистрант, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

⁵к.п.н., доцент, кафедра «Радиотехники, электроники и телекоммуникации», Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

⁶доктор PhD, доцент, кафедра «Информатики», Павлодарский государственный педагогический университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

ПОЛУЧЕНИЕ ФОСФАТОВ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В НАКОПИТЕЛЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В работе приведены результаты исследования по получению катодных материалов на основе фосфатов ванадия калия для применения в накопителях электрической энергии. Синтез осуществлялся по твердофазному методу с промежуточными помолами и термообработкой по этапному повышению температуры синтеза. В результате исследования установлено, что оптимальный температурный режим синтеза для обеих составов соответствует 600 °С. Рентгенофазовым исследованием был определен фазовый состав синтезированных образцов катодных материалов на основе фосфатов металлов (K, V). При температуре синтеза скорость формирования целевой фазы для номинального состава $KVPO_4F$ выше, чем номинального состава $KVOPO_4$. При этом установлено, что на дифрактограммах синтезированных образцов рентгеновское отражение в номинальном составе $KVPO_4F$ проявляется более четко, чем в $KVOPO_4$.

Ключевые слова: катодный материал, синтез, температура, твердый раствор, дифрактограмма, технология.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в области энергетики особое место занимает различные накопители электрической энергии (аккумуляторы) для автономных потребителей различного направления. Среди них особо можно отметить металл-ионные аккумуляторы. Металл-ионные аккумуляторы находят широкое применение в самых разных областях: от обеспечения питанием электрических схем портативной электроники (единицы Вт·ч) до использования в системах энергоснабжения электротранспорта (десятки кВт·ч) и космических аппаратов, что обусловлено их высокой удельной энергоемкостью, устойчивостью к многократному циклированию (тысячи циклов при сохранении емкости более 80 %), быстрым процессом заряда/разряда.

Постоянно ведутся исследовательские работы и новые разработки по повышению эксплуатационных характеристик металл-ионных аккумуляторов. Однако новые технологии ужесточают требования к металл-ионным аккумуляторам, что в значительной мере стимулирует исследовательскую активность как по поиску новых перспективных материалов, составляющих металл-ионные аккумуляторы, так и по разработке способов улучшения характеристик имеющихся материалов за счет модификации состава, структуры, морфологии и т. д. Основные усилия направлены на увеличение удельной энергоемкости аккумулятора, что достигается двумя путями: повышением рабочего напряжения единичной ячейки (потенциала катодного элемента) и/или увеличением количества запасаемого электрического заряда (удельной емкости, которая также, в основном, ограничивается катодным материалом).

Катодные материалы на основе фторидофосфатов переходных металлов обладают высоким потенциалом, который объясняется синергизмом индуктивного эффекта фосфатной группы и высокой электроотрицательности фтора, что в совокупности с привлекательными значениями теоретической удельной емкости (выше 200 мА·ч/г) обеспечивает высокую энергоемкость данного класса материалов. Кроме того, для фторидофосфатов прогнозируются привлекательные кинетические характеристики ввиду меньшего сродства катионов щелочного металла к фтору, чем к кислороду. В зависимости от природы щелочного и переходного металлов во фторидофосфатах реализуются различные структурные типы, варьирование и модификация которых предоставляет широкие возможности для тонкой настройки электрохимических характеристик катодных материалов на их основе.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В настоящее время разрабатываются новые катодные материалы различного состава [1–7]. Среди них можно выделить перспективные катодные материалы на основе $KVOPO_4$ и $KVPO_4F$. Синтез материалов осуществляется различными способами: химическими, стандартной керамической технологией с различными термо-механическими переделами и др.

В настоящей работе синтез катодных материалов для металл-ионных аккумуляторов номинальных составов $KVOPO_4$ и $RVPO_4F$ осуществляли по керамической технологии с периодической термообработкой с промежуточными перетираниями.

Для подготовки исходной шихты были использованы следующие химические реактивы: калий фосфорнокислый однозамещенный (K_3PO_4) марки «ч.д.а.», ванадат (V) окись V_2O_5 марки «ч.д.а.» и аммоний фтористый NH_4F марки «ч».

Термическую обработку осуществляли в муфельной печи типа СНОЛ –8,5/1100. Фазовый состав образцов исследовали рентгено-дифракционным методом на дифрактометре марки Bruker D8ADVANCE ECO, $CuK\alpha$, $WL = 1,54060$.

Для подготовки шихты, предварительно исходные реактивы прокаливали при температуре 120 - 150 °С. После смесь порошков необходимой стехиометрии тщательно перемешивали, помолоти в агатовой ступке и термообработали на корундизовом тигле при температуре 500 °С в течение 2 часов. Термообработанная смесь, повторно тщательно помолоти в ступке и прессовали в таблетки диаметром 15 мм и толщиной 2 мм под давлением 120 Мпа. Затем образцы отжигали при температуре 550–560 °С в течение 3 часов. После отожженный образец снова промалывали до фракции менее 2 мкм. Основное содержание зерен (75–80 %) представляли собой фракции менее 1 мкм. После прессовали в таблетки под давлением 120 МПа и финишный отжиг осуществляли при температуре 580–600 °С в течение 6 часов. Результаты рентгеновского исследования (дифрактограммы) фазового состава образцов приведены на рисунках 1–3.

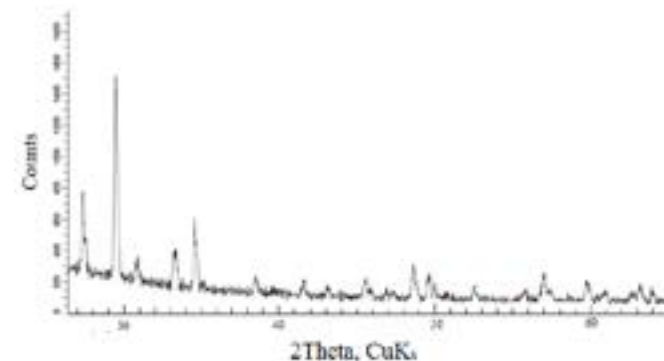


Рисунок 1 – Дифрактограмма катодного материала для металл-ионных аккумуляторов номинального состава $KVPO_4F$ синтезированного при температуре 550–560 °С

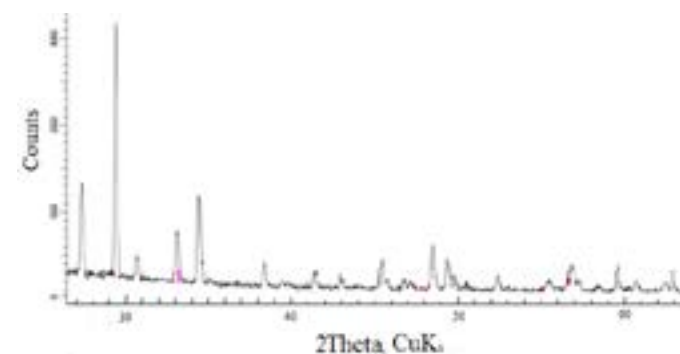


Рисунок 2 – Дифрактограмма катодного материала для металл-ионных аккумуляторов номинального состава $KVPO_4F$ синтезированного при температуре 590–600 °С

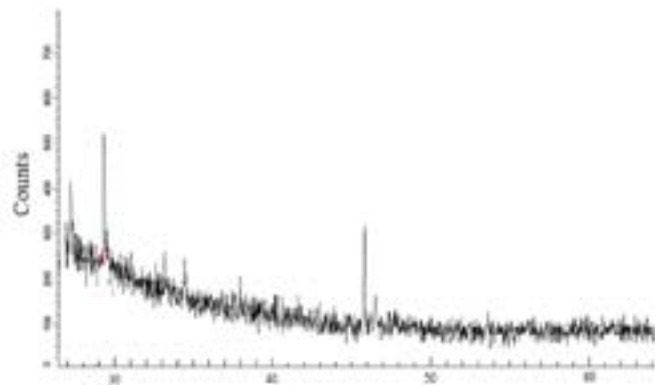


Рисунок 3 – Дифрактограмма катодного материала для металл-ионных аккумуляторов номинального состава $KVPO_4$ синтезированного при температуре 590–600 °С

В результате работы установлены, что после термообработки шихты при температуре 500 °С химическое взаимодействие между компонентами образцов не происходило. Результаты термообработки показали, что в обоих составах межфазная реакция начинается с 530–540 °С. Но при этих температурах процесс происходит очень медленно и на дифрактограммах образцов рефлексы отражений от сформировавшихся кристаллических структур образцов проявлялись очень слабо и размыты. Более интенсивные рефлексы рентгеновских отражений на дифрактограммах проявлялись на образцах номинального состава $KVPO_4F$ при температуре отжига 550–560 °С. Но при этой температуре рефлексы отражений для состава $KVPO_4$ оставались слабым, что, возможно, режим начало реакции между компонентами для этого состава лежит при более высокой температуре. После дальнейшего повышение температуры синтеза до 590–600 °С образца номинального состава $KVPO_4F$ на дифрактограммах проявлялись более четкие интенсивные рентгеновские отражения, что можно говорить о повышении кристалличности структур образца. На дифрактограммах образца номинального состава $KVPO_4$ также проявлялись рефлексы рентгеновских отражений, но по сравнению с образцом $KVPO_4F$ менее слабо и, что возможно, не все рефлексы еще проявлялись. По видимому, температурный режим синтеза для этого состава лежит более выше или формирования структуры зависит от времени термообработки. Дальнейшее повышение температурного режима отжига (610–615 °С) привели к плавлению образцов, что можно предполагать, для обоих составов температурный режим синтеза лежит в области около 600 °С.

Что касается фазового состава полученных результатов, то сравнительный анализ дифрактограмм образцов показали следующее: можно утверждать по селективным рентгеновским отражениям, проявившимся на дифрактограммах обеих образцов на углах $2\theta = 27,2; 29,2; 46,3$ градусов, что фазовый состав относится одной и той же фазе. Различие состоит в том, что если на образце номинального состава $KVPO_4F$ рефлексы рентгеновских отражении полностью проявились, то на образце состава $KVPO_4$ только рефлексы на углах $2\theta = 27,2; 29,2; 46,3$, что можно говорить о высокой скорости кристаллизации состава $KVPO_4$. Что касается состава $KVPO_4$, то на дифрактограммах не все рефлексы проявлялись, а интенсивности проявившиеся рефлексов не очень совершенны. Что можно предполагать о не полном процессе синтеза состава $KVPO_4$ и о необходимости повышение длительности термообработки, так как повышение температуры синтеза (610–615 °С) привели к плавлению образцов. По сравнительному анализу полученных результатов с данными авторов [4, 6, 7] можно предположить, что основной фазой в синтезированных образцах является фаза состава $KVPO_4$, т.к. основные интенсивные рефлексы на дифрактограммах синтезированных образцов на углах $2\theta = 27,2; 29,2; 46,3; 33; 36; 49$ соответствуют с данными выше указанных авторов. Различие заключается в присутствии дополнительных рентгеновских отражении на дифрактограммах небольшой интенсивности и интенсивности основных соответствующих рефлексов.

ВЫВОДЫ

Синтезированы катодные материалы номинальных составов $KVPO_4F$ и $KVPO_4$. Установлены, что оптимальный температурный режим синтеза для обоих составов соответствует 600 °С. При этой температуре скорость формирования целевой фазы для состава $KVPO_4F$ выше, чем состава $KVPO_4$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Barker, J et al.** Structural and chemical properties of lithium vanadium phosphate $LiVPO_4F$ // Journal of Power Sources. 2005. – № 146. – P. 516–520.
- 2 **Barker, J. et al.** A sodium-ion cell based on the fluorophosphate compound $NaVPO_4F$ // Journal of the Electrochemical Society. – 2004. – № 151. - A1670-A1677.
- 3 **Nikitina, V. A., Fedotov, S. S., Vassilev, S. Y., Samarin, A. S., Khasanova, N. R., Antipov, E. V.** Transport and Kinetic Aspect of Alkali Metal Ions Intercalation into $AVPO_4F$ Framework // Journal of the Electrochemical Society. – 2017. – № 164. – A6373-A6380.

4 **Fedotov, S. S. et al.** AVPO₄F (A = Li, K): a 4 V cathode material for high-power rechargeable batteries // Chemistry of Materials. 2016. – № 28. – P. 411–415.

5 **Галкин, В. В., Ланина, Е. В., Шельдешов, Н. В.** Зависимость электрохимических характеристик литий-ионного аккумулятора в исходном состоянии и после деградации от структурных параметров положительного электрода. Электрохимическая энергетика. – 2013. – Т. 13. – № 2. – С. 103–112.

6 **Самарин, А. Ш., Хасанова, Н. Р., Федотов, С. С., Антипов, Е. В.** Электродный материал для металл-ионных аккумуляторов, способ его получения, электрод и аккумулятор на основе электродного материала. Патент № 217.015. С9F3. Опубл. 25.08.2017. – С. 4.

7 **Fedotov, S. S., Khasanova, N. R., et al.** AVPO₄F (A = Li, K): A4V Cathode Material for High-Power Rechargeable Batteries // Chem. Mater. 2016. – № 28. – P. 411–415.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

Д. Е. Ускенбаев¹, А. С. Ногай², Э. Ж. Алимкулова³, Е. Алкожа⁴, Г. А. Мухамедрахимова⁵, Б. Б. Исабекова⁶

Металл иондарының энергия сақтау құрылғылары үшін металл фосфаттарының негізінде катодты материалдар алу

^{1,2,3,4}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

⁵Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

⁶Павлодар мемлекеттік педагогикалық университеті, Павлодар қ., 140000, Павлодар обласы, Қазақстан Республикасы.

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

D. E. Uskenbaev¹, A. S. Nogay², E. J. Alymkulova³, E. Alkoja⁴, G. A. Mukhamedrahimova⁵, B. B. Issabekova⁶

Obtaining cathode materials based on metal phosphates for metal-ion energy storage devices

^{1,2,3,4}S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan;

⁵L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan;

⁶Pavlodar State Pedagogical University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 17.08.18.

Электроэнергия сақтауға арналған калий ванадий фосфаттарының негізінде катодты материалдарды дайындау бойынша зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Синтез синтез температурасын кезең-кезеңмен арттыру үшін аралық тегістеу және жылу өңдеуімен қатты фазалық әдіспен жүзеге асырылды. Зерттеу нәтижесінде екі композицияның синтезінің оңтайлы температура режимі 600 °С-қа тең екендігі анықталды. Металл фосфаттарының (K, V) негізіндегі катодты материалдардың синтезделген үлгілерінің фазалық құрамын анықтау үшін рентген фаза талдауы қолданылады. Синтездің температурасында KVPO₄F номиналды құрамы үшін мақсатты фаза қалыптастыру жылдамдығы KVOPO₄ номиналды құрамынан жоғары. KVOPO₄-ге қарағанда, KVPO₄F-нің номиналды құрамындағы рентген сәулелерінің синтезделген үлгілердің рентгендік дифракциясының үлгілері анық көрінеді.

The paper presents the results of a study on the preparation of cathode materials based on potassium vanadium phosphates for use in electrical energy storage. The synthesis was carried out using a solid-phase method with intermediate grinding and heat treatment to increase the synthesis temperature step-wise. As a result of the study, it was established that the optimum temperature regime of the synthesis for both compositions corresponds to 600 °C. X-ray phase analysis was used to determine the phase composition of synthesized samples of cathode materials based on metal phosphates (K, V). At the synthesis temperature, the rate of formation of the target phase for the nominal composition of KVPO₄F is higher than the nominal composition of KVOPO₄. It was established that X-ray reflections in the nominal composition of KVPO₄F appear clearly on X-ray diffraction patterns of synthesized samples, than in KVOPO₄.

Р. С. Устемирова¹, М. В. Аманова²

¹PhD докторант, Казахский университет путей сообщения, г. Алматы, 050063, Республика Казахстан;

²к.т.н., PhD, доцент, Казахский университет путей сообщения, г. Алматы, 050063, Республика Казахстан
e-mail: 'raigul_1980@mail.ru

СПОСОБ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРОПУСКА СОЕДИНЕННЫХ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЧАСТКАХ

В статье предложен способ оценки экономической эффективности организации движения объединенных поездов в условиях превышения нормативных значений коэффициента заполнения пропускной способности. Установлено, собственно, что аналогичная обстановка имеет возможность складываться на ЖД транспорте по разным причинам, к примеру, по причине сгущенного подхода поездопотоков к рассматриваемому участку железной дороги, в условиях организации движения высокоскоростных и скоростных пассажирских поездов, а еще в моменты предоставления технологических окон.

Ключевые слова: экономическая эффективность, стоимостные показатели, соединенные грузовые поезда, пропускная способность перегонов, технология пропуска поездов, поездопоток.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы объемы перевозок непрерывно возрастали, а пропускная способность оставалась практически неизменной, то есть сама железнодорожная линия, как техническое сооружение с целым комплексом современных поездных средств и устройств, уже не могла пропустить требуемый и тем более планируемый поездопоток. Учитывая разнообразный по мощности локомотивный парк, полезную длину приемо-отправочных путей и руководящие уклоны, были разработаны предложения по объединению составов. Сначала соединенные поезда формировали и пропускали по всему участку на правах длинносоставных, с выделением для них специальных ниток графика движения [1].

В современных условиях работы железнодорожного транспорта нередко рассматривается вопрос организации пропуска грузовых поездопотоков в условиях ограниченной пропускной способности перегонов железных дорог, связанной с образованием увеличенного количества поездов на рассматриваемом участке, организацией пропуска высокоскоростных и скоростных пассажирских поездов, проведением технологических окон на железнодорожной инфраструктуре.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В периоды сгущенного подхода грузовых поездов графической массы и длины на участок сверх результирующей пропускной способности их пропуск может быть затруднен. Подобная обстановка станет складываться в случае организации высокоскоростного и скоростного движения пассажирских поездов по существующей инфраструктуре, поскольку коэффициенты съема грузовых поездов высокоскоростными и скоростными поездами вырастут и будут принимать значение от четырех до восьми в зависимости от технических и технологических параметров железнодорожных участков [1, 2].

Также, проведение технологических окон на двухпутной инфраструктуре железных дорог в значимой степени понижает наличную пропускную способность перегонов и участков, а вероятность направленности поездопотоков на параллельные ходы не всегда возможен. В данных условиях результативной мерой обеспечения надежного пропуска возросших размеров поездопотоков является система организации движения соединенных грузовых поездов [3].

Экономический эффект от формирования и пропуска соединенных грузовых поездов должен устанавливаться как разницу эффектов двух сценариев организации движения на участке (полигоне):

$$\mathcal{E}\Phi = \mathcal{E}\Phi_2 - \mathcal{E}\Phi_1, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}\Phi_1$ – экономический эффект от технологии формирования и пропуска грузовых поездов только графической массы и длины;

$\mathcal{E}\Phi_2$ – экономический эффект от технологии формирования и пропуска соединенных грузовых поездов.

Полученные значения экономического эффекта используются в формуле (1) с учетом полученного знака. Расчет эффектов по каждому из вариантов должен вестись только для сопоставимых стоимостных показателей.

Результаты полученного значения экономического эффекта $\mathcal{E}\Phi$ рекомендуется понимать следующим образом [4]:

1) При отрицательном значении – применение технологии формирования и пропуска грузовых поездов графической массы и длины является экономически целесообразным;

2) При положительном значении – применение технологии формирования и пропуска соединенных грузовых поездов является экономически целесообразным;

3) При нулевом значении – возможно применение любого из сценариев формирования и пропуска грузовых поездов.

Сценарии будут определяться определенными параметрами.

сценарий № 1:

– исключение необходимости формирования и пропуска соединенных поездов;

– необходимость отклонения части заявок грузоотправителей или направления части грузовых поездов на параллельные и рокадные ходы (при их наличии) в случае превышения нормативного значения коэффициента заполнения пропускной способности, приведенного в действующей Инструкции по расчету пропускной способности.

сценарий № 2:

– за счет снижения значения потребной пропускной способности относительно наличной возможность привлечения дополнительного объема грузов;

– необходимость формирования и пропуска соединенных поездов.

Понижение потребной пропускной способности во втором сценарии достигается при пропуске одного соединенного поезда по одной нитке графика движения поездов, что соответствует пропуску двух грузовых поездов по двум ниткам графика в случае формирования их графической массы и длины.

При формировании и пропуске грузовых поездов только графической массы и длины (по первому сценарию) у АО «НК «КТЖ» появляются следующие сопоставимые денежные потоки:

$$\Delta\Phi_2 = D_{доп} - \Delta_{ф-р} - \Delta_{доп} \quad (2)$$

где $D_{доп}$ – доходы от перевозки дополнительного объема груза;

$\Delta_{ф-р}$ – эксплуатационные расходы, связанные с формированием и расформированием соединенных поездов;

$\Delta_{доп}$ – эксплуатационные расходы, связанные с пропуском дополнительных грузовых поездов.

Экономия эксплуатационных расходов, а также эксплуатационные расходы, связанные с пропуском дополнительных грузовых поездов, могут

быть установлены методом расходных ставок. Зависящие эксплуатационные расходы в грузовом движении за сутки определяются как произведение расходной ставки в соответствии со статистическими данными железных дорог и значения измерителя работы. Независящие эксплуатационные расходы устанавливаются с учетом коэффициента, определяемого как отношение независимых расходов железных дорог к зависящим за анализируемый период [4].

Доходы от перевозки дополнительного объема грузов или потери доходов от невозможности выполнения заявок грузоотправителей за сутки определяются по формуле

$$D = \sum nS (d_{пор} \alpha_{пор} + d_{гр} (1 - \alpha_{пор})), \quad (3)$$

где $\sum nS$ – общие вагоно-километры пробега грузовых вагонов;

$d_{пор}$, $d_{гр}$ – среднее значение доходов от перевозки грузов, приходящихся на 1 ваг.-км порожнего и груженого вагонов соответственно, р./ваг.-км;

$\alpha_{пор}$ – коэффициент, учитывающий отношение порожнего пробега к общему пробегу грузовых вагонов.

Эксплуатационные расходы, связанные с формированием и расформированием соединенных поездов за сутки определяются по формуле:

$$\Delta_{ф-р} = 2 (N_{\phi i} t_{\phi i} + \sum N_{pi} t_{pi}) (C_{инфр} + C_{лок-ч} + C_{бр-ч}), \quad (4)$$

где $\sum N_{\phi i}$, N_{pi} – суммарное число формируемых и расформировываемых соединенных поездов на i-й станции соответственно, поездов;

$t_{\phi i}$, t_{pi} – продолжительность формирования и расформирования соединенного поезда на i-й станции соответственно, ч;

$C_{инфр}$ – стоимость занятия инфраструктуры подвижным составом, р. на 1 состав в час;

$C_{лок-ч}$, $C_{бр-ч}$ – стоимость простоя локомотива и локомотивной бригады, р. на 1 единицу в час.

Продолжительность формирования и расформирования соединенных грузовых поездов для каждой станции устанавливается на основе разрабатываемых технологических графиков затрат времени выполнения технологических операций в соответствии с [5].

Штрафы за просрочку доставки грузов в случае задержки грузовых поездов в пути следования за сутки составляют:

$$\Pi_{прос} = \beta_{пр} \sum n C_{пр}, \quad (5)$$

где $\beta_{пр}$ – коэффициент, учитывающий отношение числа отправок, доставленных с нарушением срока доставки в случае задержки грузовых поездов в пути следования к общей работе рассматриваемого подразделения (расчет может вестись для железной дороги или сети АО «НК «ҚТЖ» в целом);

\sum_n – работа рассматриваемого подразделения, ваг.;

$C_{пр}$ – среднее значение выплаты штрафов за просрочку доставки грузов в случае задержки грузовых поездов в пути следования, тенге/отправка.

Указанная методика позволяет оценить возможность освоения возрастающих объемов перевозок в условиях ожидаемого роста числа грузовых поездов, организации движения высокоскоростных и скоростных пассажирских поездов, предоставления технологических окон без вложения значительных инвестиций в развитие инфраструктуры железных дорог. Однако технология формирования и пропуска грузовых поездов предъявляет ряд требований к следующим параметрам железных дорог [6]:

– станции проведения технического и коммерческого осмотра вагонов, смены локомотивных бригад должны иметь путевое развитие, которое позволит принимать соединенные поезда не разъединения их;

– станции смены локомотивов должны иметь специализированное путевое развитие, которое позволит производить работы смене поездных локомотивов, по приему, разъединению, объединению и отправлению соединенных поездов;

– своевременная обработка соединенных поездов на станциях проведения технического и коммерческого осмотра за счет применения технологии обработки составов несколькими бригадами;

– возможность безостановочного пропуска поездов по участку между техническими станциями.

Также должны учитываться и другие местные особенности работы станций и участков железных дорог.

В случае необходимости развития инфраструктуры железных дорог формулы для определения стоимостных показателей, приведенные в данной методике, должны быть дополнены инвестиционной составляющей с учетом действующих рекомендаций.

При определении стоимостных показателей неизвестной величиной являются дополнительные размеры движения грузовых поездов, пропускаемые по рассматриваемому полигону, или число поездов, пропуск которых невозможен, или число поездов, направляемых на параллельный и рокадный ходы. Для определения указанной величины предлагается использовать следующую последовательность:

1. Определение максимального количества грузовых поездов (ниток грузовых поездов), которое возможно будет пропущено за сутки при

существующей наличной пропускной способности для i -го перегона по следующим формулам:

а) при применении технологии формирования и пропуска грузовых поездов графической массы и длины:

$$N_{гр}^{max} = N_{нал} K_{зал}^{norm} - N_{пс} \epsilon_{пс} - N_{пр} \epsilon_{пр} - N_{сб} \epsilon_{сб}, \quad (6)$$

где $N_{нал}$ – наличная пропускная способность i -го перегона железной дороги, поездов или пар поездов;

$K_{зал}^{norm}$ – нормативный коэффициент заполнения пропускной способности перегона железной дороги;

$N_{пс}, N_{пр}, N_{сб}$ – число пассажирских, пригородных и сборных поездов соответственно поездов или пар поездов;

$\epsilon_{пс}, \epsilon_{пр}, \epsilon_{сб}$ – коэффициенты съема грузовых поездов пассажирскими, пригородными и сборными поездами соответственно, наличная пропускная способность и коэффициенты съема должны устанавливаться в соответствии с действующей методикой, представленной в инструкции [6,7].

б) при применении технологии формирования и пропуска соединенных грузовых поездов:

$$\sum N_{гр}^{max} = N_{нал} K_{зал}^{norm} - N_{пс} \epsilon_{пс} - N_{пр} \epsilon_{пр} - N_{сб} \epsilon_{сб} - N_{соед} \epsilon_{соед}, \quad (7)$$

где $N_{нал}$ – наличная пропускная способность, установленная с учетом применения технологии формирования и пропуска соединенных грузовых поездов, поездов или пар поездов;

$N_{соед}$ – расчетное число соединенных поездов, поездов или пар поездов;

$\epsilon_{соед}$ – коэффициент съема грузовых поездов соединенными поездами.

При применении технологии формирования и пропуска соединенных грузовых поездов наличная пропускная способность двухпутных перегонов определяется по формуле:

$$N_{нал} = \frac{1440 - t_{техн}}{I_p} \alpha_n, \quad (8)$$

где $t_{техн}$ – время, выделяемое на технологическое окно;

I_p – расчетный интервал между грузовыми поездами, мин;

α_n – коэффициент надежности работы технических средств.

2 Расчетный интервал между грузовыми поездами определяется из условия обращения на полигоне поездов графической массы и длины, а также соединенных по формуле:

$$I_p = \frac{I_{p1}(N_{гр.рез}^{max} - N_{соед}) + I_{p2}N_{соед}}{N_{гр.рез}^{max}}, \quad (9)$$

где I_{p1} – расчетный интервал между поездами графической массы и длины, мин;

I_{p2} – расчетный интервал между соединенными поездом и поездом графической массы и длины, мин.

При пропуске по полигону других категорий поездов формулы (10) и (11) должны быть дополнены соответствующими элементами.

$$N_{гр.рез}^{max} = \min N_{гр.рез}^{max} \quad (10)$$

3 Производится сравнение результирующего значения максимального числа грузовых поездов и расчетных размеров движения

$$N_p = N_{гр.рез}^{max} - N_p \quad (11)$$

где N_p – суммарные дополнительные размеры движения грузовых поездов, пропускаемые по рассматриваемому полигону, или числу поездов, пропуск которых невозможен или число поездов, пропуск которых невозможен, или число поездов, направляемые на параллельные или рокадные ходы, поездов в сутки;

$N_{гр}$ – расчетные размеры движения грузовых поездов, поездов или пар поездов. Расчетный N_p может вестись в грузовых поездах графической массы и длины, а также с учетом использования технологии формирования и пропуска соединенных поездов.

ВЫВОДЫ

В случае если в результате расчетов N_p примет положительное значение, то пропускной способности достаточно для пропуска дополнительного объема поездопотока, в случае если отрицательное – пропускной возможности мало для освоения расчетных размеров перевозок и доля поездопотока невозможно пропустить, нужно ориентировать его на параллельный и рокадный ходы. Так, представленная методика позволит определить экономический эффект от технологии формирования и пропуска соединенных грузовых поездов на участках и полигонах железных дорог и сделать выводы о необходимости ее применения при всевозможных вариантах развития железнодорожного транспорта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Кочнев, Ф. П., Сотников, И. Б.** Учеб. пособие для вузов – М. : Транспорт, 1990. – 424 с.

2 **Ортега, Дж., Пул, У.** Введение в численные методы решения дифференциальных уравнений / Под ред. А. А. Абрамова. – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 288 с.

3 Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог. – М., 2011. – 289 с.

4 **Северова, М. О. и др.** Экономическая оценка показателей эксплуатационной работы Западно-Сибирской железной дороги. – Новосибирск, 2012. – 88 с.

5 **Галабурда, В. Г., Трихунков, М. Ф.** и др. Экономика железнодорожного транспорта / Н. П. Терешина. М., 2006. 801 с.

6 Инструкция по определению станционных и межпоездных интервалов. М., 1995. – 162 с.

7 **Ефименко, Ю. И., Суходеев, В. С., Рыбин, П. К., Томилина, Г. С.** Станции специализированных железнодорожных магистралей : Учеб.пособие : В 2 ч. – СПб., 2001. – Ч. 2. – 91 с.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

R. S. Ustemirova¹, M. V. Amanova²

Теміржол учаскелерінде байланыстағы жүк поездарының қалыптасуының және өтуінің өнімділігін бағалау әдістемесі

^{1,2}Қазақ қатынас жолдар университеті, Алматы қ., 050063, Қазақстан Республикасы.

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

R. S. Ustemirova¹, M. V. Amanova²

Method for assessing the productivity of the formation and passage of connected freight trains in railway sections

^{1,2}Kazakh University of Railway Transport, Almaty, 050063, Republic of Kazakhstan.

Material received on 17.08.18.

Бұл мақалада өткізу қабілетін толтыру коэффициент мөндерінің нормативті мөндерінің көбейуі кезінде біріккен пойыздардың қозғалысын ұйымдастырудың экономикалық тиімділігін бағалау әдісі ұсынады. Осындай жағдай теміржол көлігінде

түрлі себептермен дамуға мүмкіндік береді, мысалы, жоғары жылдамдықты және жылдам жүретін жолаушылар пойыздарының қозғалысын ұйымдастыру жағдайында, тіпті технологиялық терезелерді қамтамасыз ету сәттерінде де теміржол қозғалысы қарастырылатын теміржол учаскесіне көп келуімен байланысты.

In the article the method of economic efficiency estimation of the incorporated trains' movement organization in the conditions of excess standard values of capacity filling factor is offered. It is established, in fact, that the analogous situation has the opportunity to be formed on railway transport for various reasons, for example, due to the condensed approach of train traffic to the railway section under consideration, in the conditions of the organization of high-speed and high-speed passenger trains, and at the moments of technological windows.

ГРНТИ 004.4'272

И. И. Фураева¹, Н. С. Глазырина², Ж. Х. Кунаева³

¹к.ф.-м.н., доцент, Факультет информационных технологий, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

²PhD, доцент, Факультет информационных технологий, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан;

³студент, Факультет информационных технологий, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан

e-mail: ¹furir@mail.; ²glazirinan@yandex.ru; ³ruzhami1696@mail.ru

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ЦИФРОВОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО РЕСУРСА ПО КАЗАХСКОМУ ЯЗЫКУ

В статье описывается решение проблемы распространения казахского языка в цифровых структурах, в частности, разработка мобильного приложения цифрового образовательного ресурса (ЦОР) по казахскому языку. Для разработки ЦОР был проведен анализ существующих ЦОР, выбрана среда разработки, в качестве которой была использована Android Studio. Созданное мобильное приложение имеет различные вариации методик обучения, помогающие лучше усвоить материал. Кроме того, приложение оснащено определёнными функциями, за счет которых пользователь проходит задания с удобством, не вызывая никаких технических сложностей. Изучение казахского языка с использованием смартфона имеет неоспоримое преимущество относительно других цифровых образовательных ресурсов.

Данная статья будет полезна для людей, заинтересованных в изучении казахского языка, а также для тех, кто обучает данному языку.

Ключевые слова: цифровой образовательный ресурс, мобильное приложение, Android Studio, казахский язык, изучение, смартфон.

ВВЕДЕНИЕ

В данный момент, долгом каждого гражданина Республики Казахстан является знание государственного языка, который является важным фактором консолидации граждан Казахстана. Ключом к стабильности и процветанию является языковая целостность граждан Казахстана, когда казахский и русский языки являются обозначением взаимопонимания и уважения. Все же следует принимать к сведению, что восприятие казахского языка в заграничных странах и культурах во многом зависит от отношения народа, от его состояния, его функции в обществе. Вместе с тем, на изучение казахского языка, как государственного, возлагаются большие надежды. Отсюда следует, что проблема государственного языка, как значительная часть национальной идентификации имеет большую роль в успешном объединенном процессе казахстанского общества. И вполне верно считать, что фундаментом гражданской идентичности является знание всеми гражданами Казахстана казахского языка.

В настоящее время в университетах и школьных учреждениях введено обучение на трех языках. Это должно способствовать не только изучению дисциплин, но и улучшению знаний языков, особенно казахского. Однако, несмотря на это, лидирующее положение занимают английский и русский языки, потому что большинство обучающих ресурсов написаны именно на них. Изучение казахского языка для Казахстана актуальная задача, так как Казахстан – многонациональная страна и как сказал Глава государства «Необходимо создавать благоприятные условия чтобы представители всех проживающих в стране народностей могли свободно говорить, обучаться на казахском языке, развивать его» [3]. Кроме этого, исследования шведской компании Ericsson, показали, что к 2019 году количество пользователей смартфонов достигнет 5,6 млрд. [4] По данным корпорации Google, на момент 2016 года, 65 % населения Казахстана являются пользователями смартфонов, что делает страну лидером среди постсоветского пространства [5]. Учитывая результаты проведенных исследований, можно сделать вывод, что рынок мобильных приложений будет только расти. Поэтому, разработка мобильного приложения цифрового образовательного ресурса по казахскому языку является весьма актуальной задачей.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Цель цифровых образовательных ресурсов (ЦОР) – укрепление умственных способностей обучающегося посредством эргономичных уроков и заданий. Привлекательный дизайн должен заинтересовать и мотивировать пользователя к обучению. Современные цифровые образовательные ресурсы должны соответствовать содержанию образовательных программ, иметь

высокие интерактивные и мультимедийные технологии обучения для эффективной работы пользователя.

Используя ЦОР, можно обеспечить высокую и мультимедийную интерактивность для образовательного процесса, используя независимые, групповые, индивидуальные и различные задания, чтобы расширить объем темы, которую преодолевает пользователь в соответствующем разделе. Основной целью образования является развитие характера начальной школы с умением овладевать навыками (речью, языком, социально–культурным, педагогическим и познавательным). Хорошие уроки не могут быть представлены без ясности. Как правило, для этой цели был использован урок, классная доска с записанной темой урока и необходимыми визуальными демонстрационными материалами.

Электронный учебник нужен для исследования теоретических материалов своими силами и может быть текстовым, гипертекстовым или мультимедийным. Содержит структурированные учебные данные для студентов. Конструкция гипертекста позволяет студентам определять наилучший путь и скорость работы учебного материала на основе их когнитивных характеристик.

В настоящее время существует образовательный портал Bilimland, в котором собраны более 10 000 уроков по всем предметам школьной программы, в том числе и по казахскому языку. Однако, отсутствие мобильной версии портала снижает популярность данного проекта. Мобильное приложение Qazaq App для изучения казахского языка находится сейчас в стадии разработки. Qazaq App в основном разработан по подобию одного из самых популярных приложений по изучению языков Duolingo. Во время загрузки приложение информирует об исторических фактах Казахстана, казахских пословицах и поговороках с переводом на русский язык. Бесплатный онлайн–курс Soyle.kz – по казахскому языку, создан для телефонов с операционной системой Android и iOS. По мировым стандартам курс оснащен уровнем для начинающих – A1–A2, средним уровнем – B1–B2, также углубленным уровнем – C1–C2.

Проанализировав существующие аналоги, были выявлены такие недостатки как отсутствие интерактивности заданий, также во многих ЦОРах нет видео и аудиофайлов, не говоря уже об отсутствии функции замедления/ ускорения медиа файлов. Одним из главных минусов является наличие рейтинга успеваемости пользователя, так как оценивание является субъективным показателем, особенно в цифровых ресурсах. У большинства пользователей это отбивает желание продолжать обучение.

Учитывая недостатки существующих решений, применив современные технологии, было разработано мобильное приложение цифрового образовательного ресурса по казахскому языку.

Главное меню приложения Приложение включает в себя удобную навигацию, специальную методику и интерактивную форму изучения языка.

В разработанном приложении, полноценный урок состоит из анимационного видео, интерактивных заданий, а так же тестов, которые помогают закрепить полученные знания.

В приложении есть функция изменения скорости воспроизведения видео, что позволяет пользователю по своему усмотрению замедлять или ускорять любые части видеурока. Благодаря этому становится возможным просматривать видео на наиболее удобной для восприятия скорости в зависимости от личных предпочтений пользователя. Помимо этого обучающийся получает возможность более размерено и вдумчиво проходить наиболее сложные части видеурока.

Представлено на рисунке 1 и включает в себя список предлагаемых уроков.



Рисунок 1 – Главное меню

В данном окне используется функция скроллинга, то есть прокрутив вниз можно увидеть весь список уроков. Создание такого рода окна происходит достаточно просто, необходимо всего лишь выбрать шаблон Scrolling Activity.

Рассмотрим работу с приложением, на примере первого урока – «Кітап – бағалы сыйлық».

После выбора урока пользователь может использовать меню (рисунок 2) для быстрого перемещения между заданиями. К применру выбрав раздел «Жаңа сөз» пользователь переходит к изучению новых слов и словосочетаний.

Основной интерфейс мобильного приложения состоит из трех областей, причем каждая область имеет свой определенный цвет, дабы не сбивать с толку пользователя.

– Верхняя область содержит необходимую информацию для выполнения заданий.

– Центральная область содержит основной контент приложения

– Нижняя область нужна для навигации по электронному ресурсу.



Рисунок 2 – Страница меню

Словарь, помимо картинки, также имеет звуковое воспроизведение новых слов (рисунок 3). Это несомненно поможет с произношением.



Рисунок 3 – Словарь

Ознакомившись с новыми словами, обучающийся приступает к видеопроигрывателю. Данное видео оснащено функциями перемотки воспроизведения, а также регулятором скорости проигрывания видео (рисунок 4). Чтобы перемотать видео в определенное место нужно передвинуть бегунок. Скорость воспроизведения меняется за счет выдвигаемой настройки, которая показывает все виды возможных скоростей.

Видео помогает воспринимать и запоминать новый материал за счет визуализации, также у пользователя будет вырабатываться принцип ассоциации, что способствует хорошему запоминанию при изучении новых слов и словооборотов.



Рисунок 4 – Окно видео

Пользователь, посмотрев видео, может начать решать задания. Задания цифрового ресурса имеют обширные свойства для лучшего обучения казахского языка.

Интерактивные задания включают в себя такие упражнения как сопоставление слов картинке, составление предложений из имеющихся слов, составление предложений по воспроизведенному аудио, а также многое другое. ЦОР позволяет активно работать с предоставленным в цифровом виде учебным материалом используя разные инструменты для закрепления урока.

Первые два задания основаны на технике drag and drop (перетаскивание), объекты захватываются после долгого нажатия пальцем (рисунок 5).

Второе интерактивное задание, заключается в правильном составлении предложений, помогает пользователю усилить интуитивные способности к языку. Умение правильного построения предложения одна из основ знания языка. Обучающийся путем проб и ошибок запомнит идеологию языка.



Рисунок 5 – Задания с техникой drag and drop

Задание под номером три оснащено опцией ввода текста с клавиатуры (рисунок 6). Текст должен быть напечатан на казахском языке (рисунок 6, 1). Нажимая на кнопку внизу по середине приложение проверит напечатанное и сообщит о результате (рисунок 6). Словарный запас необходим при изучении любого языка. Чтобы запомнить новые слова и словосочетания помогут картинки, которые дают пользователю какую-нибудь ассоциацию с ситуацией.

Такая же методика присутствует в следующем четвертом задании, где нужно выбрать необходимую картинку, которая обозначает данное слово (рисунок 7).



Рисунок 6 – Задание с вводом текста, 1 – поле для ввода текста, 2 – проверка результатов



Рисунок 7 – Задание выбора картинки

Последнее задание и тест оснащены аудиофайлом. Аудиофайл начинает играть после нажатия на кнопку воспроизведения (рисунок 8). После того как пользователь услышит речь от носителя языка, он улучшит навыки аудирования и поймет, как правильнее говорить по-казахски. Это быстрый и хороший способ понимания и усовершенствования языковых навыков. Все больше и больше учителей иностранных языков переходят на методы изучения с использованием аудио, понимая их значимость в достижении положительного результата процесса обучения.

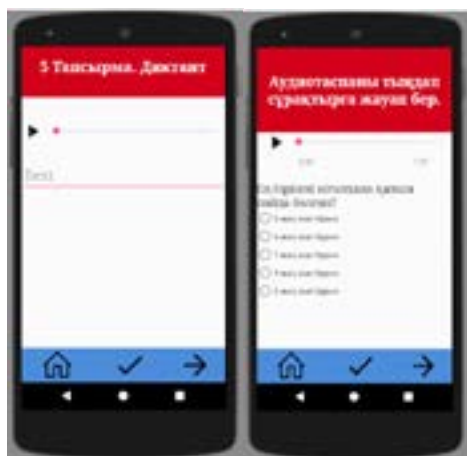


Рисунок 8 – Аудиофайл

ВЫВОДЫ

Разработанный ресурс даст основу и послужит развитию казахского языка. Применение цифровых образовательных ресурсов может послужить причиной усовершенствования новейших форм и содержания обычных образцов обучения, что приведет к осуществлению обучения на более высоком уровне. Работа с телефоном должна быть организована так, чтобы с самых начальных уроков она стала сильным способом формирования потребности в мотивационной деятельности пользователя, средством поддержания и дальнейшего прогресса их интереса к изучаемому материалу. Грамотно организованная работа пользователя с телефоном может содействовать в частности росту его познавательного и коммуникативного интереса, что существенным образом будет содействовать усилению и расширению осуществимости самостоятельной работы пользователей по изучению казахского языка в свободное время.

Приложение является удобным и легким к восприятию информации обучающего ресурса. Простой интерфейс будет понятен даже самым юным пользователям. Разнообразие заданий полужат не только обучению языка, но и послужит развитию критического мышления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Ефимова, О. В.** Использование ЦОР в обучении информатике.
- 2 **Степonenко, О. В.** Разработка цифровых образовательных ресурсов во Flash. Практикум
- 3 <https://ru.wikipedia.org/wiki>
- 4 <http://www.thedrum.com/news/2013/11/11/65-world-will-be-covered-4g-2019-ericsson-finds>
- 5 <https://regnum.ru/news/2182715.html>

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

И. И. Фураева¹, Н. С. Глазырина², Ж. Х. Кунаева³

Қазақ тілінің сандық-білім ресурстарының мобильді қолдануды дамыту

^{1,2,3}Ақпараттық технологиялар факультеті,

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті,

Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы.

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

Development of a mobile application of the digital educational resource for the Kazakh language

^{1,2,3}Faculty of Information Technologies,
L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, 010000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 17.08.18.

Мақалада цифрлы құрылымдарда қазақ тілін тарату проблемасының шешілуі, атап айтқанда, қазақ тіліндегі цифрлық білім беру ресурсын дамыту сипатталған. RDC-ны дамыту үшін қолданыстағы ҚДТ-ны талдау жүргізілді, Android Studio-да қолданылған даму ортасы таңдалды. Талдаудың негізінде құрылған мобильді қосымшаның материалды жақсы түсінуге көмектесетін түрлі әдістемелері бар. Сонымен қатар, қолданба белгілі бір функционалдылықпен жабдықталған, соның арқасында пайдаланушы қиындықтарды тудырмай, ыңғайлылықпен тапсырады. Қазақ тілін ұялы телефоннан оқыту басқа цифрлық білім беру ресурстарына қатысты сөзсіз артықшылыққа ие.

Бұл мақала қазақ тілін үйренуге қызығушылық танытатын адамдарға, сондай-ақ осы тілге үйрететіндерге пайдалы болады.

The article describes the solution of the problem of the dissemination of the Kazakh language in digital structures, in particular, the development of a digital educational resource in the Kazakh language. For the development of the RDC, an analysis of the existing RDCs was conducted, a development environment was chosen, which was used by Android Studio. Based on the analysis, the created mobile application has various techniques that help to better understand the material. In addition, the application is equipped with certain functionality, due to which the user passes tasks with convenience, without causing any technical difficulties. Learning Kazakh from a mobile phone has an undeniable advantage in relation to other digital educational resources.

This article will be useful for people interested in learning the Kazakh language, as well as for those who teach this language.

**B. K. Shapkenov¹, A. B. Kaidar², M. B. Kaidar³,
V. P. Markovsky⁴, A. P. Kislov⁵**

¹Candidate of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

²General manager, JSC «MC SEZ HimPark Taraz», Shu, 081000, Republic of Kazakhstan;

³Manager, JSC «KazTransGas», Astana, 010000, Republic of Kazakhstan;

⁴Candidate of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

⁵Candidate of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan

e-mail: ^{1,2}argin_intel@mail.ru; ³m.kaidar@amangeldygas.kz;

⁴wadim54@mail.ru; ⁵kislovpsu@mail.ru

DEVELOPMENT OF AN EFFECTIVE DYNAMIC MODEL OF THE MECHANICAL PART OF THE DRIVES IN ELECTRIC TRANSPORT

For the design of electric drives and their control systems, it is necessary to take into account the electromechanical characteristics of the vehicle. The article deals with the simulation model of the mechanical part of the tram. Simulation model of multi-motor traction drive axis describes the weight coefficients of friction (grip) and the diameters of the wheels.

The characteristics of the acceleration process, taking into account the process of sliding (slipping) of wheels, uneven loading of engines.

The normal force on the bogie axle changes on acceleration and braking together with the movement of vehicle mass-centre. Complex models can be applied for the research of dynamic load distribution on the availability of sufficient computation performance and exact data about shock absorbers (dampers), springs and mass distribution. The developed model requires setting values of initial linear speeds (m/s) of wheel surfaces on all axles.

Keywords: a simulation mode, electric transportation system, the distorted regime, experimental data, the phase voltages waveforms, the transformer.

INTRODUCTION

Light-rail vehicles are mainly vehicles with light-weight intended for use in short distances. Trams are light-rail vehicles that are intended to be used on tramways in city streets. Trams usually consist of one to three tramcars. Light-rail vehicles usually have multiple traction motors that are connected as one drive system. Different drive configurations are used on different types of rail vehicles. These traction drive configurations and control systems should fulfil all the needed functions with required response and accuracy, function correctly in all modes of operations and environment conditions and should also be reliable, disturbance insensitive, stable, with suitable construction, easily testable, maintainable, repairable and reasonably low-priced. Mainly, such modern control systems are implemented using software-based control on microprocessor control systems.

MAIN PART

Control methods applicable for vehicle control are tightly bound with the construction of a vehicle and its cars, bogies and traction motor configuration. The dynamic model (Figure 1) of the electromechanical part suitable for design, verification and tuning of the control system takes into account moments of inertia of bogie axles and inertia of the car body. Moments of inertia of all rotating component of bogie, such as wheels, brake drums or discs, gear wheels, rotors of motors etc., can be withdrawn to bogie axle.

Speed and torques on all the axles can be studied separately by dividing the mechanical part into separate parts and modelling separate axles of bogies. This property is important on creep, antilock and re-adhesion system modelling. The model of the mechanical part consists of four components that describe the following: inertia and gear, summing of traction and braking forces on all wheels, vehicle body that describes body inertia with resistance forces, and the environment model. Multi-axle and gear model includes wheel contacts for all wheels and inertia for all axles. The environment model describes track conditions, including inclination, resistance forces and adhesion function from the wheel slip. The amount of summed traction forces depends on the construction of the vehicle and bogies. This summing block can be replaced with the multiplication coefficient in simplified models where all wheels are driven with equal torque and have the same gear construction. This multiplication coefficient is taking into account the amount of wheels or axles. Integration of wheel contact and axle inertia to one dynamic block allows flexible specification of axial weights, initial speeds and other parameters. This also enables modelling of different adhesion coefficients on different axles.

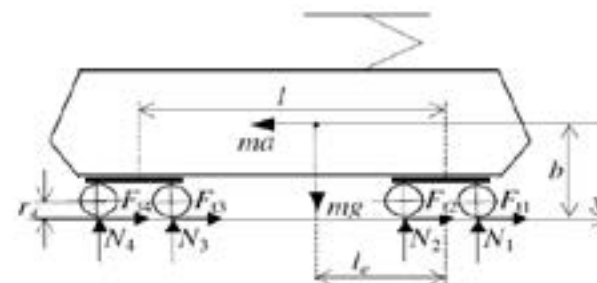


Figure 1 – Force directions in the dynamic model of a rail vehicle

Simplified dynamic equations of a vehicle can be used for the investigation of traction force distribution.

$$0 = F_{t1} + F_{t2} + F_{t3} + F_{t4} - ma - F_r \tag{1}$$

$$0 = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 - mg - F_r \tag{2}$$

In the case of a simple tram transport with two bogies and four axles, the following equation of normal and traction forces can be used:

$$0 = b(F_{t1} + F_{t2} + F_{t3} + F_{t4}) + l_c(N_1 + N_2 + N_3 + N_4) - l(N_3 + N_4), \tag{3}$$

where: $F_{t1} + F_{t2} + F_{t3} + F_{t4}$ – traction forces of bogie axles, l_c – mass centre distance from the first bogie, l – distance between bogies, b – mass centre height from rail surface, $N_1 + N_2 + N_3 + N_4$ – normal forces of bogie axles, $r1, r2, r3, r4$ – average radius of axle wheels, a – acceleration in the direction of x-axis, g – acceleration of gravity, F_r – resistance force.

The drives of rail vehicles are more evenly loaded as compared to short vehicles (motor-cars) with high acceleration such as passenger cars because of lower acceleration, low mass centre and greater length. Traction forces on bogie axles are also not equal, because when bogie moves forward on acceleration, then the rear wheel pair has a larger total normal force than the front wheel pair. The simulation model of the mechanical part allows detailed investigation of torque distribution compared to the simplified equation, including on the wheel slip described previously. To achieve detailed results and to evaluate vehicle mass centre, the measurement of axial weight in dynamic modes is expedient. The reference ramp of speed or torque can be configured according to adhesion characteristics in the simulation model. This allows achieving stable traction forces on acceleration. The torque control block included in the simulation model of the

mechanical part takes into account the effect of acceleration ramp and motor field weakening according to the back-electromotive force and supply voltage. Separate outputs of torque reference block are transferred using double precision floating point numbers and state variables of wheels as arrays of floating point numbers (indicated using bold lines in Figure 2).

The following aspects are considered in the torque reference block of the simplified model: smooth acceleration of the vehicle, thus the acceleration and shove (S-shaped acceleration and braking ramp), limitation of the drive and control system, including nonlinearity of motor magnetization saturation characteristics and nonlinear characteristics of the boost converter in the braking mode. This leads to modelling of excitation control algorithms of traction motors. The reserve of a voltage is needed for stable control of torque on unequal distribution of speeds caused by unequal wheel diameters, axle weights and adhesion. A non-linear wheel surface adhesion characteristics is used in the load model.

The adhesion coefficient is positive in both acceleration and braking, but the change of wheel slip direction changes the sign of axle traction force F_d . Traction force sign is set according to the slip direction. Determination of initial conditions is complicated on simulation, thus starting from standstill is always an instable condition. The problem is increased because of the reduction of computation accuracy at smaller values, this leads to the same problems on braking simulation at the stopping point. To avoid such situations, the value of the traction force in the simulation model (Figure 2) can be limited in several ways. The lower limit of the adhesion coefficient determines the minimal traction force; the upper limit determines the maximal traction force; and a ramp function (derivative limit) is used for limiting of traction force change.

Proper evaluation of initial conditions, such as values of excitation and armature currents of motors is important. The initial values for the adhesion coefficient and the traction force are complicated to determine, because the used adhesion function is not suitable for static adhesion modelling at standstill and the accuracy of the model is limited. This leads to additional workaround conditions that limit traction force change on the starting point and keep state variables of the model stable on standstill. Changes in the summed traction force and stability can be observed and checked graphically in real-time. Changes in the sum of traction forces do not allow one to analyze oscillations between different bogie axles, thus changes of separate traction forces have to be monitored.

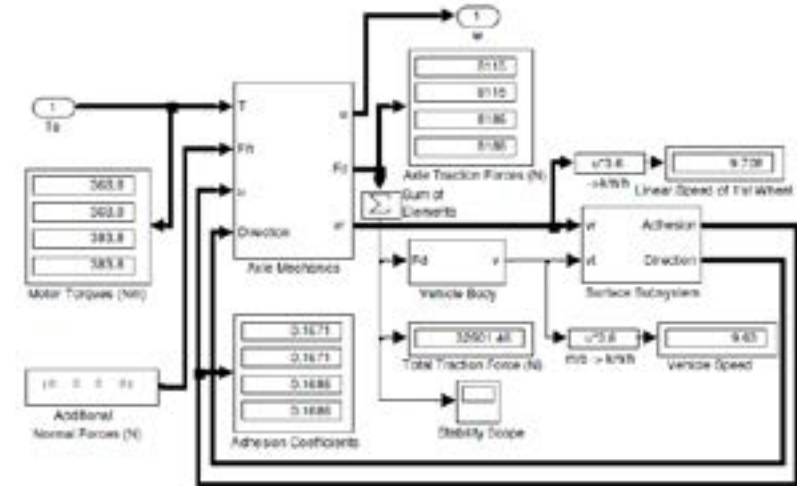


Figure 2 – Simulation model of multi-motor traction drive describing axial weights, friction (adhesion) coefficients and wheel diameters

Limitations of the model are following.

- 1 Adhesion-slip curve (friction curve) is the same for all wheels, but the adhesion of different bogie axles can be different.
- 2 Track inclination and rolling resistance values are equal for all bogie axles.
- 3 Air resistance is included as a function of speed, but disturbances, such as changes in wind, are not currently included.
- 4 Cardan shaft play effects and other plays in the drive and are not taken into account.

The previously described mechanical model can also be used in a simplified form (Figure 3). Equations of the mechanical part of motors and voltage electromotive force equations are placed in different blocks [1, p. 366–374] according to the structure of energetic macro models.

This model, as different from other models, has an input value of current and feedback of electromotive force that enables simplified modelling of the current controller without modelling electrical processes in motor windings. The modelling of switching elements and motor armature voltages is needed to model electrical processes [2, p. 374–380]. These models of electrical circuits have voltages on motor windings as input values.

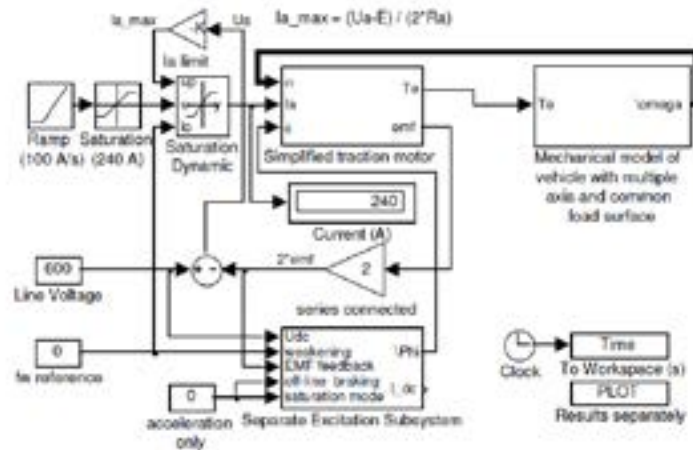


Figure 3 – Simplified simulation model using equal electrical reference torques

The simplified electromechanical model of an ideal motor shown in Figure 3 does not describe electrical parameters of windings and supply network, controllers and converters are modelled as ideal. Thus, the exact shape of the current curve of traction motors should be set manually. The acceleration process calculated using the simplified simulation model is given in Figure 4.

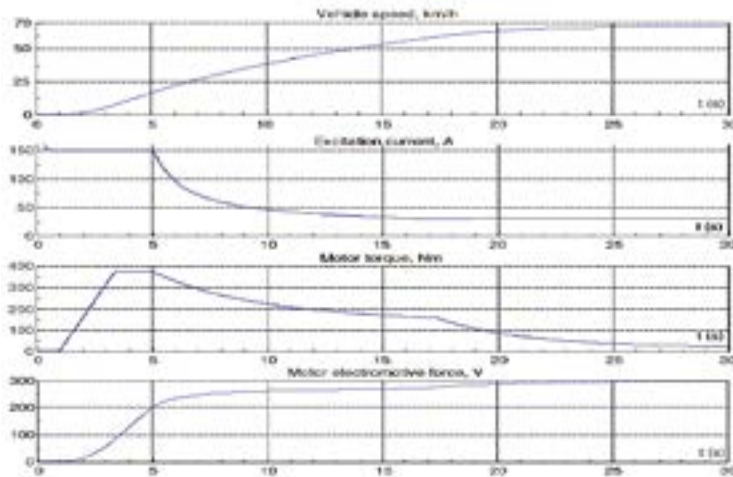


Figure 4 – Acceleration process calculated using the simplified simulation model

The simplified simulation model can be used if high-frequency electrical processes, wheel slip on different axles and torque control are not considered in detail. This simplified model includes the control of the field-weakening process and limits for electrical parameters, such as supply DC voltage and motor current.

Dynamic Model of Vehicle Body

Dynamic models where track adhesion and air resistance are integrated into one block [3, p. 153, 4, p. 176]. The author of the article proposes a structure where the calculation of adhesion coefficients is in a separate block. This allows calculating different adhesion coefficients for multiple wheels using the same block with a different wheel slip or on a different axial weight. The body of a rail vehicle moves with bogies, but speeds of bogie axles and wheel surfaces can be different from the vehicle speed because of the wheel slip on braking and acceleration.

The movement of the car body and bogies can be described via the movement of the mass centre using the differential equation [5, p.401, 6, p.359-366]:

$$M \frac{dv}{dt} = F_d - F_a - M_g \cdot \sin \theta, \tag{4}$$

where: F_a – air resistance force that depends on the measurements and the shape of the car body, F_d – total traction effort of all wheels, $M_g \cdot \sin \theta$ – gravitation effects that are zero on zero inclination (θ - inclination), M – mass of the vehicle body and bogies (without rotating masses).

Vehicle mass per bogie axle (axial weight) and inertia of axle are included in the dynamic model of the bogie axle and are not included into this model. The model can be improved by taking into account vehicle mass centre shift if needed. The dynamic model of the vehicle body does not include the static resistance force, because this has been included in the models of bogie axles and is not significant for the vehicle body model. The vehicle body model does not include track inclination θ as it models vehicle movement on zero inclination.

Inclination can be added externally, because inclination has also impact on vehicle mass-centre shift that has to be included also in bogie axle models. The dynamic model of the vehicle bogie is shown in Figure 5.

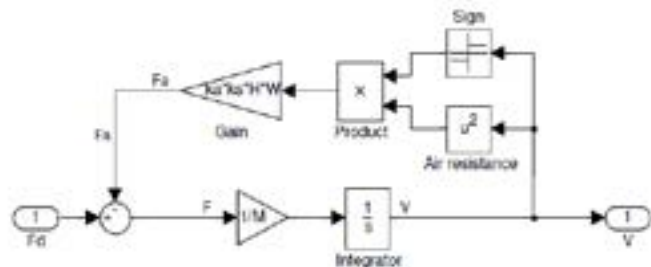


Figure 5 – Simulink block for including vehicle body inertia of and air resistance

Dynamic resistance force (air resistance) is modelled using the equation:

$$F_a = k_a \cdot S \cdot v^2, \tag{5}$$

where: v – speed of a vehicle m/s, k_a – coefficient of air resistance, S – air resistance surface, m^2 .

$$S = k_s \cdot H \cdot W, \tag{6}$$

where: k_s – coefficient of air resistance surface for including resistance of equipment located on the vehicle and under the vehicle, such as current collector, converter, bogies etc., H – vehicle height, m , W – vehicle width, m .

Parameters of the vehicle body model are mass of the vehicle body (for inertia), measurements of the vehicle body, and shape coefficients for air resistance calculation.

Modelling of Wheel-Rail Adhesion

Road and track surface adhesion modelling is one of the most complicated problems on the modelling of vehicle dynamics. Adhesion is a measure of the resistance of friction to slippage between two parallel planes. Such physically different friction coefficients as static, kinetic, deformation, molecular and rolling friction can be distinguished. Adhesion that can be maintained depends on acceleration of the rail-wheel with respect to the steel rail. Adhesion coefficient and its factors are described in literature [5, p. 401; 6, p. 359–366]. The current problem is the application of the theoretical principles for the modelling of light-rail transport.

The non-linear function of the adhesion coefficient depends on several factors and is different in different conditions. Relative motion between the wheel and the rail can be described using the slip or adhesion coefficient. The slip varies on

stable operation between 0 and 2 %. The effect of track inequality depends on the absolute value of the vehicle speed. Track inequalities are reducing the normal force, thus adhesion coefficient μ decreases with the increase of the vehicle speed.

Contaminants and dirt have a significant influence on the adhesion coefficient. Very high tension and forces at the contact point of the wheel and rail allow high values of friction coefficients, but even the molecular amount of the contaminants reduces it significantly. Rails and wheels have a different effect, like surface roughness and contaminants like water, oil, sand etc. These effects are very random and cannot be accurately modelled in practice, but each system should be capable of working in difficult environmental conditions. Wheel-rail adhesion of the rail vehicle has been modelled with the software package MatLAB Simulink. Three regions and their transitions can be distinguished. These regions are rolling surface contact (on wheels of trailer cars) that does not transfer a longitudinal force, creep region that allows changing of longitudinal force without significant changes in the slip and region of wheel spin or slip. The increase of the longitudinal force in the wheel-spin or slip region causes a dashed increase of the wheel slip due to the decrease of the friction coefficient.

Rail-wheel adhesion functions of wheel-slip on different surfaces

Empirical curves of adhesion coefficient shown in Figure 6 describe very limited conditions, like temperature surface properties and contaminants found in literature [5, p. 401; 6, p. 359–366]. Because of these limitations, a more flexible adhesion model containing the fuzzy-logic model has been provided in literature [5, p. 401; 6, p. 359–366]. The start region up to the maximal available adhesion coefficient is named pseudo-creep region. The slip does not change significantly when increasing the traction force in this region.

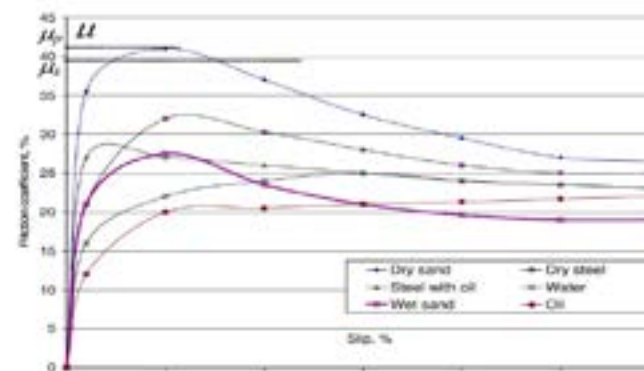


Figure 6 – Wheel slip-adhesion curves used in Simulink models

The maximal available traction and braking force depends on the peak friction coefficient μ_p . The force, slip and adhesion coefficient can be increased up to this peak value of adhesion coefficient μ_p in the elastic-slip or micro-slip region.

The range of the slip over the peak-friction coefficient point μ_p is called a combined-slip or a macro-slip region. The slip increases fast with wheel lock and the reduction of traction or braking force. There is a transition region between the peak friction and the slide friction coefficient μ_s that is called the region of dynamic instability. This is the main operation range of antilock systems.

Dependence of adhesion from vehicle shape and speed

The decrease of adhesion on the vehicle speed increase is a random process, but a statistic trend can be determined in certain conditions. According to literature [5, p. 401; 6, p. 359–366] the correction function can be added for the correction of adhesion model depending on the vehicle speed. The speed and effects of speed are relatively low for trams, thus it can be neglected for simplified modelling.

Empirical equations are used to describe the adhesion that can be applied only certain track conditions and is not applicable for all driving conditions.

Slip and adhesion simulation

The simulation model of the adhesion consists of the wheel-slip calculation block, non-linear function block of the friction coefficient and logic blocks of initial conditions. Absolute slip is a normalized difference of speeds on the wheel surface and the contact point:

$$\lambda = \left| \frac{v_r - v_t}{\max\{v_r, v_t\}} \right| \tag{7}$$

where: v_r – linear speed of wheel traction surface, v_t – speed of the wheel and rail contact point (speed of vehicle). The slip and adhesion calculation block applicable in the simulation model is shown in Figure 7.

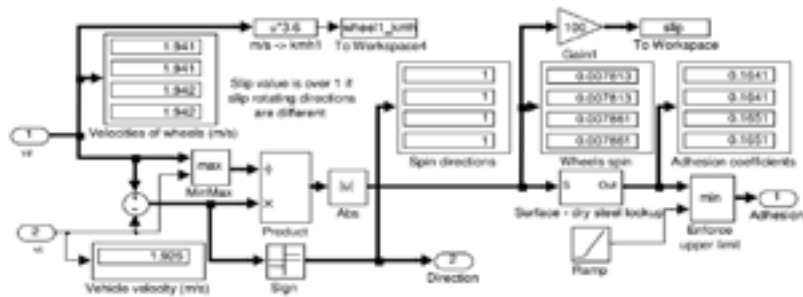


Figure 7 – Slip calculation and adhesion reference block

The ramp function in Figure 7 is used for changing the friction coefficient from zero to the actual value at model start-up. All linear speeds of wheel surfaces and the vehicle speed, wheel slips and adhesion coefficients can be monitored during simulation.

Describing rail-wheel adhesion functions of wheel-slip

Adhesion coefficient μ as a function of absolute slip λ can be described using different equations, including equations similar to the torque characteristics of the induction machine (Kloss formula), where power k has been included by the author of the thesis to achieve a better description of the curve shape:

$$\mu = \frac{2 \cdot \mu_p}{\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^k + \left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^{2k}} \tag{8}$$

Another formula is known from literature [5, p. 401, 6, p. 359–366]. that does not model adhesion on micro-slip region, thus is only applicable on high slip values.

$$\mu = \mu_p \cdot \left(\frac{1 - 1.8 \cdot \lambda}{1 + 2.26 \cdot \lambda} \right) \tag{9}$$

where: μ_p – peak adhesion coefficient, λ_p – slip at peak adhesion and k – power for better describing of curve shape. This equation can be used to check the operation of the control system, but is not suitable for study or optimization of the real slip. Different calculation blocks for track adhesion modelling are shown in Figure 8.

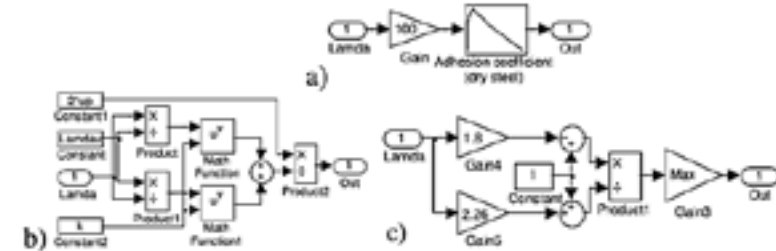


Figure 8 – Simulation models for describing the wheel-rail contact function

Adhesion functions of slip (from Figure 6) described using the tables are shown in Figure 8, a , a function 8 shown in Figure 8, b , and a function 9 shown in Figure 8, c.

Limitations for adhesion changes in the simulation model

Model instability is a problem on system tuning at low values of speed and the friction coefficient. The essence of the problem is related to calculation tolerance of the simulation model. The author of the thesis recommends the use of

ideal low-pass filter blocks (derivative limits), such as *rate limiter* for the friction coefficient at low speeds. This limit is meant to avoid huge instantaneous changes in the friction coefficient. On realistic changes in the adhesion, this filter has no effect. For example, rate limit 10 Hz corresponds to the limit $10 \text{ Hz} \cdot 4950 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 485595 \text{ N/s} = 486 \text{ kN/s}$ of the traction force, which has no effect in normal conditions. The upper and lower limit of integration time-step should be also properly evaluated to avoid of convergence problems.

Dynamic models of axles, wheels and gears

A mechanical gear with wheels is an energy accumulative element. Vehicle axles are modelled as rotating mass and its dynamic model consists of load torque T_d , moment of inertia J and losses described via reaction force F_r . Rotation is described using the differential equation:

$$J \frac{dw}{dt} = T_m - T_d - T_{loss}, \tag{10}$$

where: J – moment of inertia, T_m – motor torque, T_d – reaction torque and T_{loss} – additional torque loss. Losses can be included in different ways. Separate dynamic losses (related to rotation) can be added as a function of angular velocity:

$$T_{loss} = f(w). \tag{11}$$

If losses of the mechanical model are related to the linear movement, such as friction of wheels caused by track bends, then it can be added to the linear resistance force.

$$T_d = (F_d + F_r) \cdot k_{bogie}, \tag{12}$$

where T_d includes torque caused by both traction force F_d and linear resistance forces F_r . Both linear resistance force F_r on the wheel surface and resistance torque T_r on the motor shaft can consist of static and dynamic components. The axles and the motor shaft with brakes are rotating at different speeds and wheels have different diameters, thus the transfer coefficient should be used between the wheel surface and motor shaft.

The transfer ratio of a bogie according to Figure 9 is:

$$k_{bogie} = \frac{r}{n}, \tag{13}$$

where n is a gear ratio and r is a wheel radius. Transfer from motor shaft to wheels is

$$\begin{cases} v_r = k_{bogie} \cdot w \\ T_d = k_{bogie} \cdot F_{contact} \end{cases}, \tag{14}$$

where: v_r – linear velocity of wheel traction surface. Wheel-rail contact force is calculated by

$$F_{contact} = F_d + F_r = \mu \cdot N + F_r. \tag{15}$$

The parameters that can be set to the axle and gear models are: N – axial weight (kg), J – moment of inertia (kgm²), r – wheel radius (m), and n – gear ratio.

The equation

$$w = \int \frac{T_m - T_{loss} - k_{bogie}(\mu \cdot N + F_r)}{J} dt \tag{16}$$

shows that the reduction of load (on adhesion/friction decrease) will cause the increase of speed. The structure of the mechanical model of wheels and gears is shown in Figure 9.

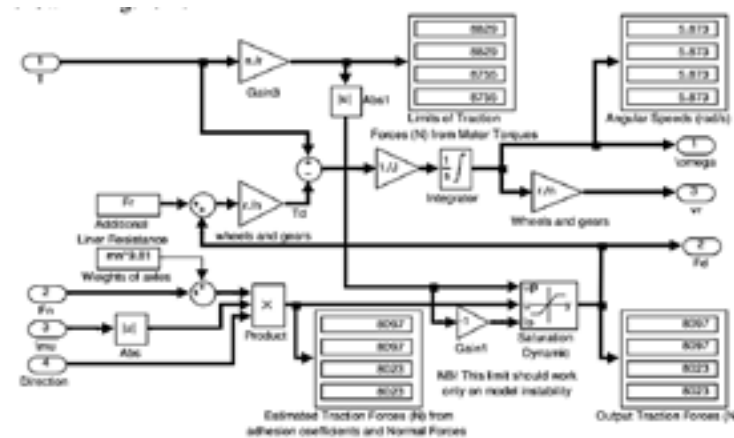


Figure 9 – Dynamic models of axles, wheels, gears, brakes and motor mechanics

CONCLUSIONS

The inputs of this block are values of electrical torques T (Nm), adhesion coefficients μ (input 3, «mu»). Resistance force F_r (N) allows taking into account track-bend resistance, inclination and other disturbance forces that have its effect directly on the bogie axle.

Outputs of this block are values of traction force F_d and speeds. The linear velocity of traction surface v_s is for slip calculations and the angular speed of motor shaft ω is for feeding back the load reaction to the electromechanical model block. The limiting of the output of the axial traction force according to the motor torque does not avoid the self-braking effect, but keeps the model stable in the case of incorrect parameters or initial conditions.

The traction force is proportional to the variable normal force in dynamic conditions with the variable slip and axle weight:

$$F_d = \mu \cdot N, \quad (17)$$

where: μ – adhesion coefficient, N – wheel-rail contact force.

The normal force on the bogie axle changes on acceleration and braking together with the movement of vehicle mass-centre. Complex models can be applied for the research of dynamic load distribution on the availability of sufficient computation performance and exact data about shock absorbers (dampers), springs and mass distribution. The developed model in Figure 9 requires setting values of initial linear speeds (m/s) of wheel surfaces on all axles.

REFERENCES

1 Шапкенов, Б. К., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Темирханов, Е. У., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Тюлюгенова, Л. Б. Сетевые токовые гармоники и их негативное влияние. Материалы Международной научно-практической конференции «VIII Торайгыровские чтения», посвященной 25-летию независимости Республики Казахстан. – Павлодар : 2016 г., т. 6. – с. 366-374. – ISBN 978-601-238-669-1(Т.6).

2 Шапкенов, Б. К., Темирханов, Е. У., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Тюлюгенова, Л. Б. Сети с нелинейными нагрузками, генерирующими гармоники в среде тока и напряжения. Материалы Международной научно-практической конференции «VIII Торайгыровские чтения», посвященной 25-летию независимости Республики Казахстан. – Павлодар: 2016 г., т. 6, с. 374–380. – ISBN 978-601-238-669-1 (Т.6).

3 Повышение эффективности электроснабжения городских электрических сетей: Монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, А. П. Кислов, В. П. Марковский, М. Б. Кайдар. – Павлодар : Керек, 2016. – 153 с. – ISBN 978-601-238-674-5.

4 Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б. Оптимизация параметров и режимов работы городских электрических сетей: монография 238

/ Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, М. Б. Кайдар. – Алматы : Эверо, 2016. – 176 с. – ISBN 978-601-310-762-2

5 Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Тюлюгенова, Л. Б., Кислов, А. П., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П. Колебания напряжения питания городского электротранспорта. Материалы международной научной конференции молодых ученых, магистрантов, студентов и школьников «XVII Сатпаевские чтения». – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова, 2017, Ч. 1. – С. 328–334. – ISBN 978-601-238-706-3 Ч. 1. – 2017. – 401 с.

6 Кайдар, А. Б., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П., Кислов, А. П., Кайдар, М. Б., Тюлюгенова, Л. Б. Применение программы SaUTP для управления тяговыми сетями. Материалы международной научной конференции молодых ученых, магистрантов, студентов и школьников «XVII Сатпаевские чтения». – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова, 2017, Ч. 1. – С. 359–366. – ISBN 978-601-238-706-3 Ч. 1. – 2017. – 401 с.

Material received on 17.08.18.

Б. К. Шапкенов¹, А. Б. Кайдар², М. Б. Кайдар³, В. П. Марковский⁴, А. П. Кислов⁵

Электр көлікте электр жетектерінің механикалық бөліктерінің тиімді динамикалық үлгілерін зерттеу

^{1,4,5}С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

²«Тараз химиялық паркі АЭА» БК» АҚ, Шу қ., 081000, Қазақстан Республикасы;

³«ҚазТрансГаз» АҚ, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы; Материал 17.08.18 баспаға түсті.

Б. К. Шапкенов¹, А. Б. Кайдар², М. Б. Кайдар³, В. П. Марковский⁴, А. П. Кислов⁵

Разработка эффективной динамической модели механической части приводов в электротранспорте

^{1,4,5}Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз», г. Шу, 081000, Республика Казахстан;

³АО «КазТрансГаз»,
г. Астана, 010000, Республика Казахстан.
Материал поступил в редакцию 17.08.18.

Электр жетектері мен олардың басқару жүйелерін жобалау үшін көлік құралының электромеханикалық сипаттамаларын ескеру қажет. Мақалада трамвайдың механикалық бөлігі имитациялық моделі қарастырылған. Көп қозғалтқышты тартқыш дискінің имитациялық моделі осьтік салмағын, үйкеліс коэффициенттерін (ілінісу) және доңғалақтың диаметрлерін сипаттайды.

Жылдамдық үдерісінің сипаттамалары дөңгелектердің жылжымалы (айналдыру) процесін, қозғалтқыштың жүктелуінің әркелкілігін ескере отырып берілген.

Трамвай осінің қалыпты күші жеделдету және тежеу кезінде, көлік құралының масс орталығының қозғалысы кезінде өзгереді. Кешенді модельдер жеткілікті есептеу сипаттамалары мен амортизаторлар, серіптелер және массалық үлестіру туралы дәл деректердің болуына динамикалық жүктемелердің таралуын зерттеу үшін пайдаланылуы мүмкін. Өзірленген модель барлық осьтердегі дөңгелек беттерін бастапқы желілік жылдамдықтарының (м/с) мәндерін белгіледі талап етеді.

Для проектирования электроприводов и систем управления ими необходимо учитывать электромеханические характеристики транспортного средства. В статье рассматривается имитационная модель механической части трамвая. Имитационная модель многомоторного тягового привода описывает осевые веса, коэффициенты трения (сцепления) и диаметры колес.

Приведены характеристики процесса ускорения, учитывающие процесс скольжения (пробуксовки) колес, неравномерность загрузки двигателей.

Нормальное усилие на оси тележки изменяется при ускорении и торможении вместе с перемещением центра масс транспортного средства. Комплексные модели могут быть применены для исследования распределения динамических нагрузок на наличие достаточных вычислительных характеристик и точных данных обамортизаторах (демпферах), пружинах и распределении массы. Разработанная модель требует задания значений начальных линейных скоростей (м/с) поверхностей колес на всех осях.

SRSTI 44.29.01

**B. K. Shapkenov¹, A. B. Kaidar², M. B. Kaidar³,
V. P. Markovsky⁴, A. P. Kislov⁵**

¹Candidate of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

²General manager, JSC «MC SEZ HimPark Taraz» Shu, 081000, Republic of Kazakhstan;

³Manager, JSC «KazTransGas», Astana, 010000, Republic of Kazakhstan;

⁴Candidate of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

⁵Candidate of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan

e-mail: ¹argin_intel@mail.ru; ²m.kaidar@amangeldygas.kz;

⁴wadim54@mail.ru; ⁵kislovpsu@mail.ru

TWO DIFFERENT MODEL VARIANTS OF ELECTROMECHANICAL PART OF DRIVES IN ELECTRICAL TRANSPORT

The paper proposes a simulation model for an electric transportation system. Based on the simulation results one can visualize the waveforms of the currents and voltages in different points of the network and can also detect the problems that appear in the system, especially those related to the distorted regime. In the same time several parameters could be calculated with acceptable errors, such as the RMS values, THD factors or total powers.

The system is flexible; with small changes in the system structure one can simulate various cases, such as: daily peak, normal load, no load etc.

The transportation system model, realized in MATLAB/Simulink and validated using experimental data, will offer afterwards a possibility of a cheap analysis of the possible solutions for harmonics mitigation and for power quality improvement.

Keywords: a simulation mode, electric transportation system, the distorted regime, experimental data, the phase voltages waveforms, the transformer.

INTRODUCTION

The task of ensuring reliability inevitably arises at all stages of construction and operation of technical systems. However, when creating a system project, it is necessary to solve a number of issues regarding its structure, characteristics of the elements used, the frequency of control and maintenance, as well as other activities aimed at improving the reliability of the system. The choice of reasonable solutions to ensure high reliability is one of the main problems facing the Creator of the system.

MAIN PART

The model of the electromechanical part consists of the models of one or more traction motors and their electrical connections. The model consists of models of motor windings and is connected with the electromagnetical model of motors, the mechanical model and the supply source model. The supply source model should contain model of converter.

Series connection, parallel connection or their combination series-parallel connection is used for the connection of multiple DC motors. Equal electrical torques in a simplified model of the mechanical part correspond to series connection of DC motors, e.g. to a situation where both armature windings and excitation windings are connected in series [1, p. 366–374, 2; p. 374–380].

Configurations of motor windings and load distribution

Multi-motor traction drives, where separate traction motors are driving separate axles or separate wheels or separate bogies, are widely used on trams and electric multiple units (trains). Load torques and powers of different machines are equable on balanced condition. Electromechanical conversion with an unbalanced distribution of a load leads to different values of torques T_m and motor angular speeds ω .

Series or parallel connection is often used in drives with DC motors. On railway vehicles like trains where operation is altered rarely, the reconfiguration from series to parallel and vice versa is used for speed control. More flexible and smooth control of torque is required for LRVs for city traffic. The series connection of motors is a widely used method in traction drives with multiple DC motors for better load distribution if motors are located on the same bogie.

Excitation and armature windings are both connected separately in pair wise series that allows magnetization control. The equation for two DC motors with armature and excitation windings connected separately in series is (1) [3, p. 153; 4, p. 176]:

$$(L_{a1} + L_{a2}) \frac{di_a}{dt} = u_{\text{conv}} - e_{\Sigma} + (R_{a1} + R_{a2}) \cdot i_a, \tag{1}$$

where i_a – armature current that is equal for both motors, u_{conv} – instantaneous value of converter output voltage, L_{a1} and L_{a2} – inductances of armature windings and interpoles, R_{a1} and R_{a2} – resistances of armature windings and interpoles, and e_{Σ} – sum of back-electromotive forces. Armature currents are equal and back electromotive forces are summed according to a series connection

$$\begin{cases} i_a = i_{a1} = i_{a2} = \frac{T_e}{k\Phi} \\ e_{\Sigma} = e_{a1} + e_{a2} = k\Phi \cdot (\omega_{r1} + \omega_{r2}) \end{cases}, \tag{2}$$

where T_e – electrical torque without mechanical losses, ω_{r1} and ω_{r2} – angular speeds of motor shafts, k – machine constant, and Φ – excitation flux.

Excitation and machine constants can be considered as equal if excitation windings are connected in series, characteristics of motors are equal and armature reaction is not included because of equal currents.

Thus, on modelling of separately magnetized traction motors their armature windings and main excitation poles can be described with separate blocks. These motor circuits are bound via magnetic circuit and electrical circuits of windings.

Thus, connections are described via variables of magnetic flux, armature current and the sum of electromotive forces.

Two different model variants of electromechanical part are shown in Figure 1.

The first allows detailed investigation of electrical processes with a switch-mode converters and another is a behavioural model for checking of motor control properties. The simulation model shown in Figure 1, a allows calculating of series connections of two or more motors. The transfer functions should not be used for modelling of windings because setting of current initial values is complicated. This simulation model enables a detailed investigation of the processes caused by a series connection of DC motor windings.

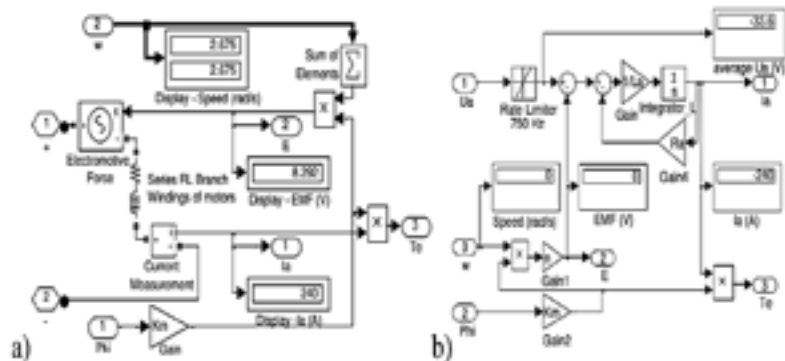


Figure 1 – Simulators of armature circuits of electrically series connected DC traction motors

The output variable T_e (electrical torque) of both simulation models does not include mechanical torque losses, which should be included in the mechanical model block. The limit of the derivative (*rate limiter*) shown in Figure 1,b is needed for filtering of high frequency pulses and corresponds to the effect of motor winding capacitance.

Electrical parameters of traction motors and electrical output torques T_e depend on the mechanical parameters, such as load torque T_m and speed ω . The speeds of bogie axles can be different because of different adhesion of wheels.

The inductances and resistances can be summed for simplified modelling of series connection with multiple motors. The following parameters are used in both models in Figure 1: L_{Σ} – total summed inductance of series connected windings, R_{Σ} – total summed resistance of series connected windings, K_m – machine constant. If multiple values are set to parameters K_m , inputs U_{Σ} or feedbacks ω as array, then block output is also an array with multiple electrical output torques T_e .

Advantages of separate control of traction motors

Separate control of traction motors has separate control of motor voltages and current via control system. This enables flexible control or equalizing of both output torques and speeds. The currents and voltages of different bogies using only torque limit are shown in Figure 2. Torque control without speed equalization leads to the wheel spin or slip.

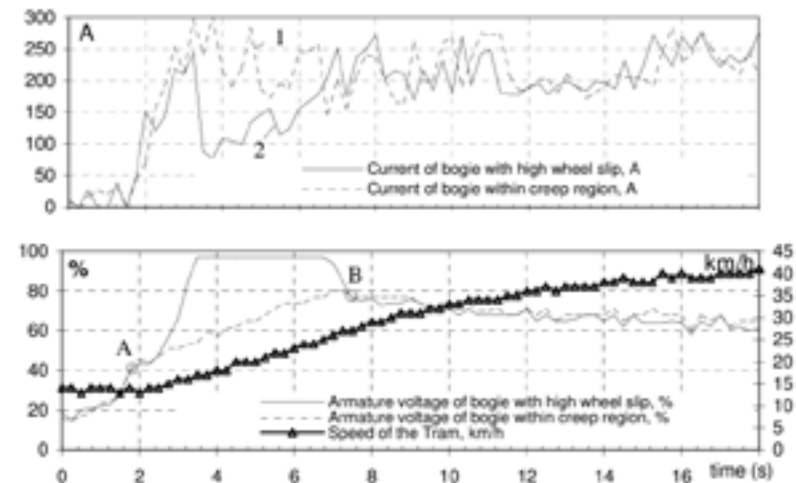


Figure 2 – Electrical effects of wheel slip in drive without traction control

Output voltages and current (see 1 and 2 in Figure 2) of converters are shown between points A and B. Current controller is trying to keep constant current (constant torque) during the wheel slip. Thus, output voltage is increased up to the maximal value. Oscillations between bogies can be seen after readhesion [5, p. 401; 6, p. 359–366].

A control system should also limit speeds in addition to torque control to avoid situations shown in the figure. Speed on different bogies is limited using the voltage control of separately controllable converters. A separately magnetized drive allows using of voltage limit for speed limiting. The tram traction drive developed by the authors of the article uses speed control via voltage limiting together with current limit via the current controller.

Current is not limited when its instantaneous value is lower than reference value, which is estimated maximum according to other bogies. Voltage reference integrator is integrating up only limited conditions when some of the currents are not limited via the current controller.

CONCLUSIONS

The advantage of separate converters is lower power and output current of converters compared to the supply of all motors from a single converter. The system developed by the authors uses separate control of bogies that is also a more flexible configuration for antilock and creep control.

REFERENCES

1 Шапкенов, Б. К., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Темирханов, Е. У., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Тюлюгенова, Л. Б. Сетевые токовые гармоники и их негативное влияние. Материалы Международной научно-практической конференции «VIII Торайгыровские чтения», посвященной 25-летию независимости Республики Казахстан. – Павлодар: 2016 г. т. 6. с. 366–374. – ISBN 978-601-238-669-1 (Т.6).

2 Шапкенов, Б. К., Темирханов, Е. У., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Тюлюгенова, Л. Б. Сети с нелинейными нагрузками, генерирующими гармоники в среде тока и напряжения. Материалы Международной научно-практической конференции «VIII Торайгыровские чтения», посвященной 25-летию независимости Республики Казахстан. – Павлодар : 2016 г. т. 6. – С. 374–380. – ISBN 978-601-238-669-1 (Т.6).

3 Повышение эффективности электроснабжения городских электрических сетей: Монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, А. П. Кислов, В. П. Марковский, М. Б. Кайдар. – Павлодар : Кереку, 2016. – 153 с. – ISBN 978-601-238-674-5.

4 Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б. Оптимизация параметров и режимов работы городских электрических сетей: монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, М. Б. Кайдар. – Алматы : Эверо, 2016. – 176 с. – ISBN 978-601-310-762-2

5 Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Тюлегенова, Л. Б., Кислов, А. П., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П. Колебания напряжения питания городского электротранспорта. Материалы международной научной конференции молодых ученых, магистрантов, студентов и школьников «XVII Сатпаевские чтения». – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова, 2017, Ч.1. – С. 328–334. – ISBN 978-601-238-706-3 Ч. 1. – 2017. – 401 с.

6 Кайдар, А. Б., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П., Кислов, А. П., Кайдар, М. Б., Тюлегенова, Л. Б. Применение программы SaupTR для управления тяговыми сетями. Материалы международной научной конференции молодых ученых, магистрантов, студентов и школьников «XVII Сатпаевские чтения». – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова, 2017, Ч.1, – С. 359-366. – ISBN 978-601-238-706-3 Ч. 1. – 2017. – 401 с.

Material received on 17.08.18.

Б. К. Шапкенов¹, А. Б. Кайдар², М. Б. Кайдар³, В. П. Марковский⁴, А. П. Кислов⁵

Электр көлігінде электр жетектерінің электромеханикалық бөлігінің екі түрлі үлгі нұсқасы

^{1,4,5}С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;
²«Тараз химиялық паркі АЭА» БК» АҚ, Шу қ., 081000, Қазақстан Республикасы;
³«ҚазТрансГаз» АҚ, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы;
Материал 17.08.18 баспаға түсті.

Б. К. Шапкенов¹, А. Б. Кайдар², М. Б. Кайдар³, В. П. Марковский⁴, А. П. Кислов⁵

Два различных модельных варианта электромеханической части приводов в электротранспорте

^{1,4,5}Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;
²АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз», г. Шу, 081000, Республика Казахстан;
³АО «КазТрансГаз», г. Астана, 010000, Республика Казахстан.
Материал поступил в редакцию 17.08.18.

Электр тасымалдау жүйесінің имитациялық моделі ұсынылған. Модельдеу нәтижелеріне сүйене отырып, желідегі әртүрлі нүктелердегі ток және кернеулердің толқындық формаларын көруге болады, сондай-ақ жүйеде туындайтын мәселелерді, әсіресе бұрмаланған режимге байланысты мәселелерді анықтауға болады.

Сонымен бірге, бірнеше параметрлер орташа квадраттық мәндері, THD коэффициенттері немесе жалпы қуат сияқты рұқсат етілген қателіктермен есептелуі мүмкін

Жүйе икемді; жүйенің құрамында шамалы өзгерістер болған жағдайда әртүрлі жағдайларды модельдеуге болады, мысалы: күнделікті шыңдар, қалыпты жүктеме, нөлдік жүктеме және т.б.

MATLAB / Simulink-те іске асырылған және эксперименттік мәліметтермен расталған көлік жүйесі моделі болашақта гармониканы азайту және электр сапасын жақсарту үшін ықтимал шешімдерді арзан талдау мүмкіндігін ұсынады.

Предложена имитационная модель системы электротранспорта. На основе результатов моделирования можно визуализировать формы сигналов токов и напряжений в различных точках сети, а также выявлять проблемы, возникающие в системе, особенно связанные с искаженным режимом.

В то же время несколько параметров могут быть рассчитаны с допустимыми ошибками, такими как среднеквадратичные значения, коэффициенты ТНД или суммарные мощности.

Система гибка; с небольшими изменениями в структуре системы можно смитировать различные случаи, как: ежедневный пик, нормальная нагрузка, нулевая нагрузка и так далее.

Модель транспортной системы, реализованная в MATLAB / Simulink и проверенная экспериментальными данными, впоследствии предложит возможность дешевого анализа возможных решений для снижения гармоник и улучшения качества электроэнергии.

SRSTI 44.29.01

**B. K. Shapkenov¹, A. B. Kaidar², M. B. Kaidar³,
V. P. Markovsky⁴, A. P. Kislov⁵**

¹Candidate of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

²General manager, JSC «MC SEZ HimPark Taraz», Shu, 081000, Republic of Kazakhstan;

³Manager, JSC «KazTransGas», Astana, 010000, Republic of Kazakhstan;

⁴Candidate of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

⁵Candidate of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan

e-mail: ^{1,2}argin_intel@mail.ru; ³m.kaidar@amangeldygas.kz;

⁴wadim54@mail.ru; ⁵kislovpsu@mail.ru

ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN THE TRACTION MOTOR-CONVERTER SYSTEM

Increasing traction is a complex task in the design of rail vehicles, so it is necessary to develop effective traction systems and algorithms.

In the testing process, traction algorithms and control strategies are based on simulation covering the entire dynamics of the tram.

An emergency stop of one tram leads to a stop of all cars on this line. Damage in the contact network leads to the zeroing of the entire partitioned area, which also leads to a traffic stop.

The article studies the traction model of urban transport and the control method based on the simulation approach to obtain more effective results.

Keywords: a simulation mode, electric transportation system, the distorted regime, experimental data, the phase voltages waveforms, the transformer.

INTRODUCTION

Voltage control possibilities depend on the used supply system. Traction drives supplied only from single-phase AC contact network are rarely used on light rail vehicles and are beyond of the scope of the thesis. Multi-system light-rail vehicles that have direct current intermediate circuit and use medium voltage AC supply additionally to 600V or 750 V DC supply will be applied more widely.

Among the main technical requirements for modern rolling stock of urban electric transport, such as increasing the carrying capacity, reducing the material consumption of cars, their maintainability, providing specified accelerations, slowdowns, as well as comfortable conditions for passengers [1, p. 325–331; 2, p. 98], the importance of reducing energy consumption, reducing the complexity of technological equipment, improving working conditions, reliability.

The fulfillment of these requirements by the existing rolling stock is problematic, as a significant part of the cars is morally and physically obsolete. So in the last six months in Pavlodar two trams burned because of short circuits. The last case was on 6 January 2018.

A problem with the traction equipment system violates the schedule of movement of trams. An emergency stop of one tram leads to a stop of all cars on this line. Damage in the contact network leads to the zeroing of the entire partitioned area, which also leads to a traffic stop.

MAIN PART

Different voltage control methods used for different motor types are shown in Figure 1. Modern switch-mode controlled DC or vector controlled AC drives are mainly based on voltage source transistor converters with DC intermediate circuit.



Figure 1 – Voltage control possibilities in electric traction drives

Recent traction drives are using AC or DC motors in DC contact network. For DC traction motors the transformer control and (phase-controlled) rectifiers are applicable only in AC systems. In the DC continuous control (electromechanical control), using contactors and resistors or acceleration rheostat, has low efficiency on dynamic operation due do losses on resistances. It is neither not applicable on

AC traction motor control. First switch-mode converters for tram traction drives were implemented using single-operation thyristors [1, pp. 325-331]. Similar circuits are still used in many vehicles, including trains that are using 3 kV supply and DC traction motors.

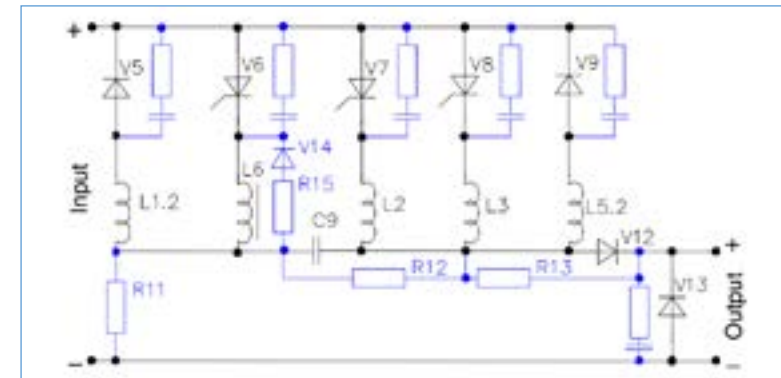


Figure 2 – Common power circuit of a thyristor chopper

The thyristor-based chopper circuit (from trolleybus Skoda 14tr) shown in Figure 2 has the following drawbacks:

- 1 Parallel connection of multiple slow thyristors is complicated and requires additional filter circuits L2, L3, L5.2 that cause energy losses.
- 2 RC circuits used for over-voltage damping cause additional losses.
- 3 Closing commutation of main circuit thyristors V7, V8 requires additional commutation circuit with thyristor V6, capacitor C9, freewheeling diode V5, and resistor R11. The existence of commutation components does not allow high switching frequencies that lead to bigger and more complicated filters. The voltage ripple on motors causes additional problems. Control, protection and separation of commutation circuit signals require complicated firing circuits.
- 4 Freewheeling diode V9 and separate freewheeling diodes in load circuit V13. Recent semiconductor switches have integrated freewheeling diodes RCTs, IGBTs, etc.)

Circuits described in Figure 2 – are not used in modern traction converters because of availability of compact, fast and efficient transistor modules. Pulse width modulation and vector control are widely used in converters, including in controlled rectifiers and drives because of availability of fast power semiconductor devices and better output voltage quality. Bridge-circuit based inverters are widely used for the supply of AC traction motors. Power stacks of traction converters are

mostly assembled using power semiconductor devices produced in large series (Figure 3) or using intelligent power modules. The same power stack enables usage of different output voltages, different control methods of AC voltage or voltage vector modulation.

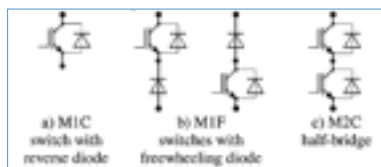


Figure 3 – Power module circuits used in recent switch-mode converters of tram traction drives

Problems that require further research are:

1 Problems that arise with increasing switching frequency, including 3D circuit design, EMC and long cable problems. The described hardware problems should be reduced by software, including by choice of suitable modulation, frequencies and control methods.

2 Protection of converter transistors and traction motors on failures and malfunctioning.

3 EMI immunity of feedback and measurement circuits.

4 Design of flexible and efficient converters that can be used for control of different traction motor types.

5 EMC problems are tightly bound with the control methods of traction converter, e.g. modulation, allowed switching patterns and switching delays.

6 Application of new power-semiconductor devices in traction converters, such as 6.5 kV IGBTs, SiC-based ultra fast freewheeling diodes, etc.

To study the electromagnetic processes in the traction motor-Converter system, the following model was simulated.

Mainly wheel speed comparison is used in multi-motor traction drive systems for slip detection. Speed signals can be measured via sensors or estimated from motor models using the measured current and voltages values. The comparison of measured speeds or comparison of values that are indirectly proportional to speeds can be used for slip detection. Direct comparison of speeds requires speed sensors in all axles. This is a good solution, as the feedback quality does not depend on the condition of motors and other components of the drive system.

The indirect comparison of speeds uses speed values estimated from the models of separately controlled motors. This can be applied for speed comparison between separately supplied under-carriages (bogies).

Instead of model-based methods, slip can be also detected via direct comparison electrical parameters. Comparison of electromotive forces can be used for DC traction motors. A bridge circuit can be used for back-electromotive force comparison. Traction drive system with series connected DC motors (trams ČKD Tatra KT4 and T3/T4, trains RVR ER1, ER2, etc.) is using the bridge circuit shown in Figure 4. This simple bridge circuit does not detect slip if the slip is equal on both axles. M2 M1.

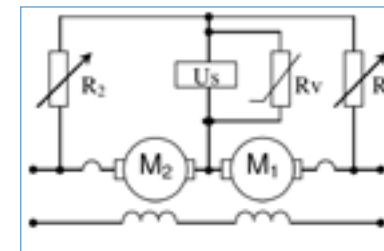


Figure 4 – Circuit diagram of DC traction motor slip detection system

An isolated voltage sensor U_s , voltage level relay with higher winding voltage or semiconductor relay with optocoupler is used for voltage detection. A sensor or a relay gives a signal if back-electromotive forces of traction motors are not equal. A parallel-connected metal-oxide varistor R_v increases a delay and reduces the influence of high-frequency disturbances caused by chopper supply and commutators. An analysis of the load distribution in series connected DC traction drive system [2, p. 98] can be found in literature [3, p. 123].

Energetic macro models [4, p. 374–380; 5, p. 47–52] of components are used for composing of dynamic models of traction drives. These are models described using transfer functions for both effects and reactions. System components in energetic macro models are grouped by physical content, thus energy sources, conversion elements, and storage elements are described using different symbols and blocks.

As different from the described approach, the authors of the article recommends grouping of these blocks according to system structure not physical content.

Component grouping only on physical content reduces flexibility, because changes in the system structure lead to changes of the physical content and replacement of numerous symbols.

MatLAB SIMULINK simulation model has a hierarchical structure and each block can be flexibly composed from configurable sub-blocks. The grouping of the block should take into account different configurations of drive hardware, such as different motor-wheel configurations, different compositions of supply converters,

motors etc. This simplifies the comparison of properties (parameters) on different drive configurations. Inputs and outputs of model blocks should be comparable with the values measured from the real system. This allows checking of each block separately and its comparison with a real system component.

Electrical subsystems described using transfer functions have input with the instantaneous value of voltage and reaction is calculated as the instantaneous value of current. Mechanical subsystems can have input with linear or angular speed and reaction calculated as force or torque. These inputs and outputs can be exchanged. To describe an interaction a pair of two variables should be always used. One variable is an input and describes the effect and another is a result and feedback as a reaction. The instantaneous power can be calculated from this variable pair. Using all of important interactions (voltage and current, torque and angular speed and force and velocity), a transferred power can be calculated from component macro model inputs and outputs. For model verification and comparison with the real system, it should be divided into subsystems described using subsystem macro models.

These subsystem macro models can be also divided to subsystem and component models.

The model of the mechanical part and control circuits together form a model of a control object that includes models of load, electromagnetic part of motors, electrical part, electronic part of the converter, hardware of the control part and feedbacks. In addition, control principles (methods) are an important component needed for modelling.

Most of modern systems are based on a microprocessor control system, thus a dynamic model should also contain descriptions of software based controllers, control algorithms, including torque controllers, speed controllers or reference integrators, ramp-functions, anti-slip systems (ABS, creep control), control of field weakening, control of operation mode, control of braking chopper and control input switches.

A model should be simple because of energetic, technical, time limitations and limitations of usable computer hardware, but should include important properties and parameters needed for the result - for control system design. In practice, many environmental and object properties are not taken into account because of the practical aim and availability of initial data or are included fictitiously if the real object is not yet available or destroyed. The composition of the following simulation model is based on the following simplifications and assumptions.

1 Protection systems are not modelled in stable operation modes. It is assumed that system operates in a stable mode and its structure does not change.

Modelling of protection systems together with control algorithms is necessary if the same model is used for real-time control of a traction drive.

2 Initial values of state variables and changes of operation modes are referenced. A simple and stable operation mode, such as freewheeling or standstill, can be chosen for the initial point, thus wheel surface speed can be set equal to the vehicle speed. Stability of the simulation model at the initial point is assured via the choice of initial values of state variables.

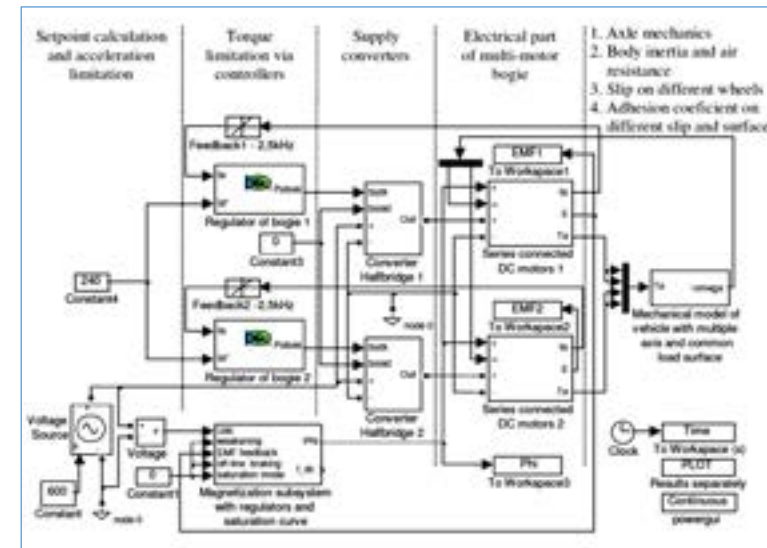


Figure 5 – Structure of the simulation model of multi-motor traction drive

The structure of the simulation model suitable for tuning and scrutiny of the control system is given in Figure 5. This structure contains control reference blocks with controller blocks and other components needed for electric drive control. Reference signals and road conditions can be simplified or fictitious according to the aims.

In addition to control blocks, this structure also contains component models of the control object, such as models of supply converters, models of electromagnetic part of traction motors, models of electromechanical part of vehicle bogie and the model of vehicle body dynamics.

Changes of environmental conditions are included fictitiously, because it does not describe certain driving conditions but allows imitating very different conditions.

Simplified function block of the motor and control system that has reference power as input (W) and real speed and real input power (W) as outputs takes into account torque limit, power limit and inertia, but does not include electrical

parameters. One of such programs is the modelling program for autonomous hybrid electric vehicles ADVISOR [1, p. 361–363] that includes tire slip and adhesion model of road surface.

CONCLUSION

The influence of surface slip of wheels on the operation of multiple traction motors has to be taken into account for multi-motor rail vehicles.

Comparison of simulated results calculated using the simplified model and experimental results measured on track are given in Figure 3. In the experiments, the speed was measured from bogie axle, but the speed calculated via the model is the vehicle speed. Actual speed that is independent of the wheel slip can be measured using special contact-less measurement equipment [1, p. 361–362]. Torque oscillations are caused by the poor quality of armature current control. The inductance of armature branch is low, thus changes in armature current are instant. This leads to the use of fast current control and feedback circuits.

Oscillating speed sensor causes oscillations of estimated electromotive force.

Analog instrumentation amplifiers and digital pulse sensors have been replaced to improve the control properties in all of the following prototypes of trams.

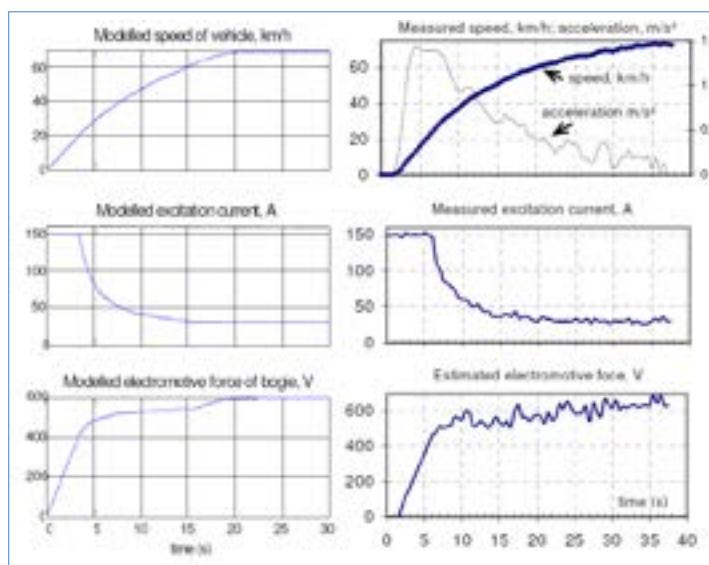


Figure 3 – Comparison of acceleration process calculated using the simulation model of multi-motor traction drive with measurement result on prototype tram

REFERENCES

1 Шапкенов, Б., Калнев, Б., Кайдар, А. Теория и практика энергетических преобразователей: монография для студентов, магистрантов, аспирантов и ИТР, руководящего и обслуживающего персонала электростанций. Saarbrücken, Germany: Изд. Lap Lambert Academic Publishing, 2014. – 461 с. [Электронный ресурс]. – http://zh.scientific.net/author/Bauyrzhan_Shapkenov.

2 Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б. Оптимизация параметров и режимов работы городских электрических сетей: монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, М. Б. Кайдар. – Алматы: Эверо, 2016. – 176 с. – ISBN 978-601-310-762-2.

3 Повышение эффективности электроснабжения городских электрических сетей: Монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, А. П. Кислов, В. П. Марковский, М. Б. Кайдар. – Павлодар: Кереку, 2016. – 153 с. – ISBN 978-601-238-674-5.

4 Шапкенов, Б. К., Темирханов, Е. У., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Тюлюгенова, Л. Б. Сети с нелинейными нагрузками, генерирующими гармоники в среде тока и напряжения. // Материалы Международной научно-практической конференции «VIII Торайгыровские чтения», посвященной 25-летию независимости Республики Казахстан. – Павлодар, 2016. – Т. 6. – С. 374–380. – ISBN 978-601-238-669-1 (Т.6).

5 Кайдар, А. Б., Марковский, В. П., Кислов, А. П., Шапкенов, Б. К., Шахман, Е. Т., Кабдыкаримов, А. Е. К выбору эффективных режимов работы электромеханических систем по критериям энергетической эффективности или позиционирования. // Труды VIII МНПК «Научно-технический прогресс в металлургии». – Темиртау: Карагандинский государственный индустриальный университет, 2015. – С. 47–52. – ISBN 978-601-7369-59-0.

Material received on 17.08.18.

*Б. К. Шапкенов¹, А. Б. Кайдар², М. Б. Кайдар³, В. П. Марковский⁴,
А. П. Кислов⁵*

Электромагниттік процестер қозғалтқыш түрлендіргіш тарту жүйесінде

^{1,4,5}С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;
²«Тараз химиялық паркі АЭА» БК» АҚ,
Шу қ., 081000, Қазақстан Республикасы;
³«ҚазТрансГаз» АҚ,
Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы;
Материал 17.08.18 баспаға түсті.

*Б. К. Шапкенов¹, А. Б. Кайдар², М. Б. Кайдар³, В. П. Марковский⁴,
А. П. Кислов⁵*

Электромагнитные процессы в тяговой системе двигатель-преобразователь

^{1,4,5}Павлодарский государственный университет
имени С. Торайғырова,
г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;
²АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз»,
г. Шу, 081000, Республика Казахстан;
³АО «КазТрансГаз»,
г. Астана, 010000, Республика Казахстан.
Материал поступил в редакцию 17.08.18.

Тартулардың өсуі теміржол көлігін құрастыруда қиындық тудырады, сондықтан тиімді тартқыш жүйелер мен алгоритмдерді әзірлеу қажет.

Тестілеу барысында тракция алгоритмдері мен басқару стратегиясы трамвайдың бүкіл динамикасын қамтитын модельдеуге негізделген.

Бір трамвайдың шұғыл аялдамасы осы жолдағы барлық көліктердің тоқтауына әкеліп соғады. Байланыс желісіндегі зақымданулар барлық бөлінген аумақты нөлге алып келеді, бұл да кестені бұзуға әкеледі. Мақалада қалалық көліктің тартымды үлгісі және тиімді нәтижелерге қол жеткізу үшін имитациялық моделі негізінде басқару әдісі қарастырылады.

Увеличение тяги является сложной задачей при проектировании рельсовых транспортных средств, поэтому необходимо разработать эффективные тяговые системы и алгоритмы.

В процессе тестирования алгоритмы тяги и стратегии управления основаны на моделировании, охватывающем всю динамику трамвая.

Аварийная остановка одного трамвая приводит к остановке всех вагонов на этой линии. Повреждение в контактной сети приводит к обнулению всей секционированной области, что также приводит к нарушению графика.

В статье исследуется тяговая модель городского транспорта и метод управления, основанный на имитационном подходе для получения более эффективных результатов.

**B. K. Shapkenov¹, A. B. Kaidar², M. B. Kaidar³,
V. P. Markovsky⁴, A. P. Kislov⁵**

¹Candidate of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

²General manager, JSC «MC SEZ HimPark Taraz» Shu, 081000, Republic of Kazakhstan;

³Manager, JSC «KazTransGas», Astana, 010000, Republic of Kazakhstan;

⁴Candidate of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

⁵Candidate of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan

e-mail: ^{1,2}argin_intel@mail.ru; ³m.kaidar@amangeldygas.kz;

⁴wadim54@mail.ru; ⁵kislovpsu@mail.ru

EMERGENCY MODES OF URBAN ELECTRIC TRANSPORT SYSTEM ON THE SIMULATION MODEL

Urban Massive Transportation Systems (UMTS), like metro, tramway, light train, require the supply of electric power with high standards of reliability. So, an important step in the development of these transportation systems is the electric power supply system planning and design.

The paper proposes a simulation model for an electric transportation system. Based on the simulation results one can visualize the waveforms of the currents and voltages in different points of the network and can also detect the problems that appear in the system, especially those related to the distorted regime. In the same time several parameters could be calculated with acceptable errors, such as the RMS values, THD factors or total powers.

The system is flexible; with small changes in the system structure one can simulate various cases, such as: daily peak, normal load, no load etc.

The transportation system model, realized in MATLAB/ Simulink and validated using experimental data, will offer afterwards a possibility of a cheap analysis of the possible solutions for harmonics mitigation and for power quality improvement.

Keywords: a simulation mode, electric transportation system, the distorted regime, experimental data, the phase voltages waveforms, the transformer.

INTRODUCTION

An urban transportation system is a large-scale consumer of electricity and therefore its power quality is always a major concern [1–3]. In a DC electrified system high-power rectifiers are placed at the power substation to convert AC to DC power for the traction. The converter produces harmonic currents and injects them in the power grid during its operation [1–3]. Harmonic current propagates through the electrical system of the traction network and may cause additional thermal losses through the overhead lines and transformers. It may cause electromagnetic interference, too. The adverse effects of harmonics in the traction system and power system call for serious concern to both the electric vehicle operation system and power utility companies. As an urban traction system can be expected to operate more and more vehicles to meet increasing demand, accurate prediction of harmonic contents becomes very important for the transportation company.

To alleviate the problems of harmonic disturbances, special equipment, such as passive filter or active compensator is available [3]. The determination of the proper installation, as well as the design, the rating and the performance of the equipment, require knowledge about the level of harmonic disturbance in the analyzed system. Oversize design of filters results in high cost and should be avoided. Therefore, a method to evaluate harmonic level is essential.

This paper presents a simulation model of an urban transportation system capable to anticipate the power quality problems that are met here. All the four main components of the system are considered, starting from the electric vehicle, contact line system, traction substation (including the transformer and the rectifier), and ending with the high voltage supply network. The entire system is modeled taking into account the available parameters of the installations and by approximating the characteristics of the unknown components. In every simulation level, the results were compared with measured data, recorded by a power quality analyzer in a traction substation, in order to obtain a viable model of the analyzed transportation system.

I. STRUCTURE OF THE ELECTRIC TRACTION SYSTEM

The electric transportation system is consisting of four main components, as depicted by Figure 1 [4]. These components are specific to the non-autonomous electric vehicles. They can be included in two categories of installations:

- fixed installations, and
- mobile installations.

– The fixed installations of an electric traction system include: installations of generation, transmission and distribution of electricity (even if they are not specific to the electric traction), traction substations, contact line, rolling path and other fixed connection and switching equipment that provides the protection, the

operation and the maintenance of the contact line (i.e. feeder cables, subdivision station, station for parallel connection, return feeders).

– The mobile installations of the electric traction system are those installations that are placed on the electric vehicle’s board.

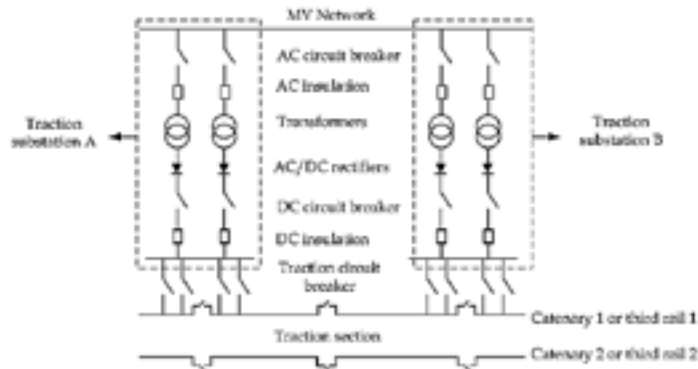


Figure 1 – Main components of the electric traction system

The four main components from Figure 1 are presented below:

The *medium voltage supply network* provides the energy necessary to the entire transportation system operation.

The *electric traction substation* is the fixed installation connected to the medium voltage supply electric system that adjusts the electric parameters offered by the electrical power system to the electric traction needs. It includes mainly the three-phase transformer and the rectifier.

The *feeding transformer* characteristics, corresponding to the analyzed traction system, are: apparent power 2300 kVA; input and output voltages 20 kV/470 V; short-circuit voltage $u_{sc} = 7.7\%$; idle-running current: $i_0 = 4.5\%$.

The *rectifier*, with diodes, has the role of converting the AC energy provided by the supply line in a DC energy (voltage). Based on the semiconductor technology, the rectifier acts like a nonlinear load and a harmonic current generator. So its pollution on the power supply system must be considered.

The *contact line* and the rolling path form the DC supplying network along the rolling path. The feeding transformer is connected to one of its ends. The length of the contact line is variable – with a mean maximum length of 3–5 km for each section. The electric vehicles are supplied through a current collector from the contact line.

The *electric vehicles* (trams) receive energy from the contact line, transform it with minimum losses and distribute it to the electric traction motors, in order to

transform it into mechanical energy necessary to their movement. At the contact point the vehicle could be represented by a base frequency consumer and harmonic current generator with the odd harmonics [3]. This statement is not valid for the vehicles equipped with harmonic filters or capacitor banks.

II. SIMULATION MODEL OF THE ELECTRIC TRANSPORTATION SYSTEM

Based on the structure of the electric traction system and taking into account only the main components presented above, a model of the transportation system was realized using MATLAB/Simulink software (Figure 2) [5].

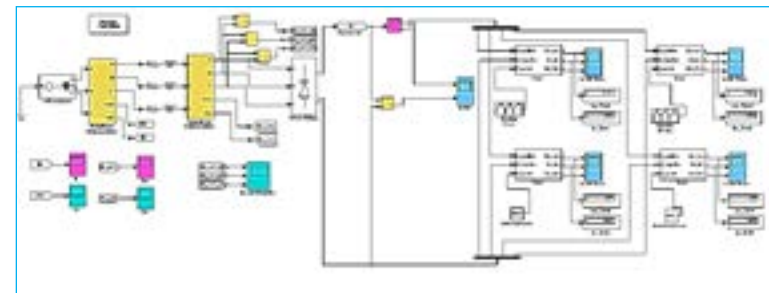


Figure 2 – Analyzed transportation system simulated in MATLAB/Simulink

Several other auxiliary elements, which are important for the system and for the connectivity between components, are disregarded in our analysis, as they are important only during the substation design stage.

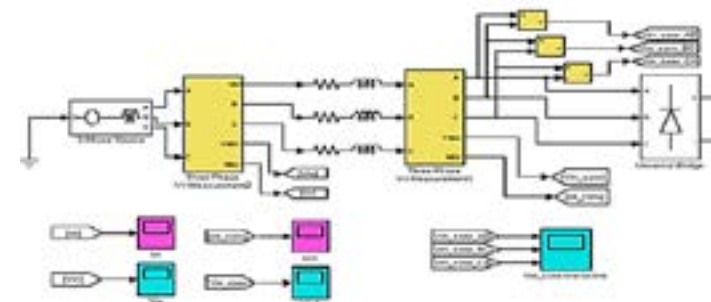


Figure 3 – The Simulink model of the electric traction substation

Because the available measured data refer to the voltages and the currents at the transformer outputs, a three phase measurement block was placed between the

transformer and the rectifier in order to measure, analyze and view the waveforms of the phase voltages and currents.

By comparison with the real traction system, the simulated system presents a drawback: the entire system is supposed to be supplied with symmetric voltages. Therefore it is not possible to study the influence of the supply network disturbances over the electric traction system.

A. Contact line

The contact line was simulated by a PI section line block (Figure 2). Even if the resistance and the inductance of the contact line were considered as values per unit length, the line is considered as having a constant length (a mean value). In the real cases the length of the contact line is variable, depending on the distance between the electric vehicle and the electric traction substation.

B. Electric vehicles

For each electric vehicle (tram) a Simulink subsystem was created, as depicted by Figure 4. It has as inputs a part of the current offered by the contact line (the current is shared between the trams connected on the same line section) and a required power block that models the tram operation. At its output one can see the waveforms of the voltage, of the current and of the power consumed by the tram.

It was considered that each tram is endowed with an input filter (in the real case only a part of the trams owns such equipment) and its nonlinear behaviour was modeled by a load current generator that supplies a controlled current source (Figure 5).

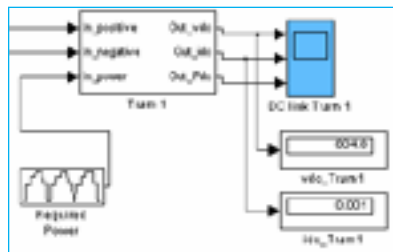


Figure 4 – The Simulink model of the electric vehicle (tram)

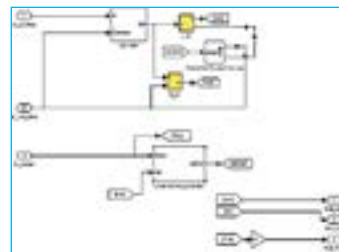


Figure 5 – The subsystem corresponding to the electric vehicle

The number of the electric vehicles in the system and the required power are variable, depending on the traction system load (i.e. the moment of the day) and the operation mode of the tram (acceleration, constant speed movement or deceleration).

III. SIMULATION RESULTS

The simulation model was used to model several cases, corresponding to different load levels of the transport system. The analysed cases included the cases “daily peak” and “after daily peak” as they present interest for the evaluated system.

Here only one daily peak case is analysed due to the high values of the currents in the system. For this purpose it was considered that four trams are supplied from the same contact line. The trams require different power levels (i.e. they are in different operation modes). Close to reality power levels were considered.

Figure 6 shows the variations of the voltage, of the current and of the consumed power corresponding to the tram 1. This tram passes through different operation modes and different speed values. One can see that the demand voltage remains almost constant during the entire operation period while the current is variable, being limited at a prescribed value for each level of speed.

Figure 7 shows the variations of the current and voltage in the contact line under the influence of all the four trams.

One can notice the same almost constant value of the voltage in the contact line during the analyzed operation time; this fact is in accordance with the previous measured values of the voltages [5].

In figure 8 and figure 9 one can notice the waveforms corresponding to the phase voltages and currents in the measuring points placed between the transformer and the rectifier, in the traction substation. In the current waveforms presented in Figure 9 one can notice a moment when the operation mode of some trams changes (a small acceleration occurs after the «0.35» moment). The waveforms are similar to those obtained experimentally with an analyzer [4].

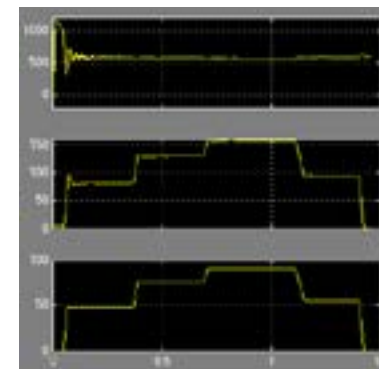


Figure 6 – The voltage (top), the current (middle) and the consumed power (down) waveforms for the tram 1

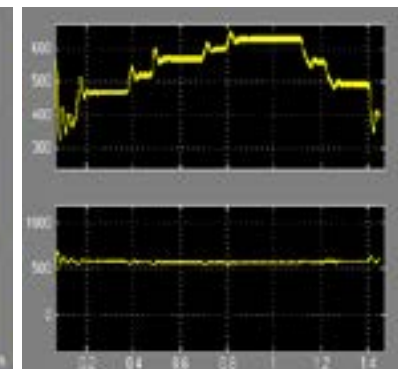


Figure 7 – The current (top) and the voltage (down) waveforms in the contact line

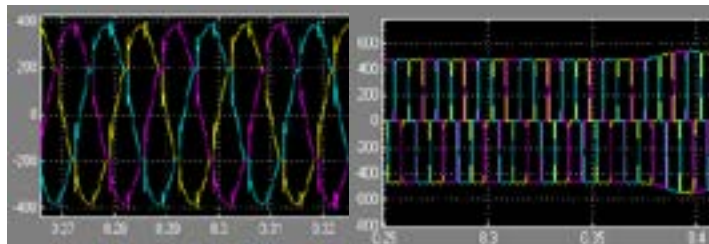


Figure 8 – The phase voltages waveforms at the transformer output

Figure 9 – The currents waveforms at the transformer output

The harmonic spectra of the current and phase voltage in the point corresponding to the measurement point (in the transformer output) are depicted by Figure 10 and Figure 11. They are obtained using the Simulink software facilities. One can notice the absence of the even order harmonics and of the multiple of three order harmonics, as it was expected. On the other hand one can see that the voltage harmonics have rather small weights because the rectifier and electric vehicle produce only a current distortion.

The harmonic decomposition was performed based on a Fourier analysis. The analysis allows the determination of the rms value of any electric quantity Y

$$Y = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} Y_k^2}, \tag{1}$$

the harmonic level

$$\gamma_k = \frac{Y_k}{Y_1} \tag{2}$$

and the total harmonic distortion

$$THD = \sqrt{\frac{Y^2 - Y_1^2}{Y_1^2}} \cdot 100[\%] \tag{3}$$

In the same time, the powers that flow through the substation supply network can be determined based on the relations:

$$P = \sum_{a=1}^3 P_a = \sum_{a=1}^3 \sum_{k=1}^N U_k I_k \cos \varphi_k \tag{4}$$

for the total active power, and

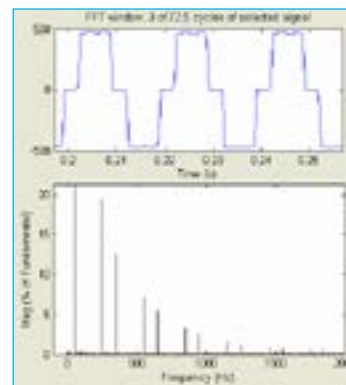


Figure 10 – Harmonic spectrum of the current at the transformer output

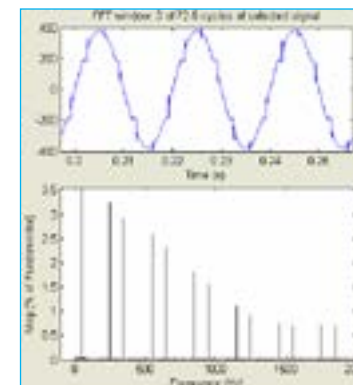


Figure 11 – Harmonic spectrum of the phase voltage at the transformer output

$$Q = \sum_{a=1}^3 Q_a = \sum_{a=1}^3 \sum_{k=1}^N U_k I_k \sin \varphi_k \tag{5}$$

for the total reactive power, and for the total reactive power, where φ_k represents the phase-difference between homologous harmonics of voltage and current for the same order k and N is the maximum order of the harmonics considered [4].

The numerical results of the analysis for a daily peak case corresponding to the morning of a working day of July are shown in table 1 and table 2. Here the simulated values and the measured ones are presented comparatively.

Table 1 – Comparative results of measured and simulated values in a daily peak case

		Measured values	Simulated values
RMS values	$U_1 [V]$	274.05	268.2
	$U_2 [V]$	274.89	268.2
	$U_3 [V]$	274.67	268.2
	$I_1 [A]$	370.11	365.8
	$I_2 [A]$	372.41	365.9
	$I_3 [A]$	371.56	365.5

THD [%] for	U_1	4.27	6.26
	U_2	4.18	6.27
	U_3	4.11	6.27
	I_1	27.07	25.29
	I_2	26.86	25.28
	I_3	26.80	25.4
Peak values	$U_1 [V]$	400.40	379.2
	$U_2 [V]$	400.31	379.2
	$U_3 [V]$	399.73	379.2
	$I_1 [A]$	481.26	517.5
	$I_2 [A]$	483.02	517.4
	$I_3 [A]$	482.50	516.9
Consumed power	$S [VA]$	305.86	-
	$P [kW]$	292.77	291.3
	$Q [kVar]$	25.48	33.49
	$D [VAd]$	85.42	-

Table 1 gives the rms values, the total harmonic distortion and the peak values of the voltages and current of all the three phases. Also the total consumed powers (active, reactive and distorted) are measured, only the active and reactive powers could be determined using the simulation model. That is why the reactive value resulted from simulation is higher than the measured one.

Table 2 presents the values and the weight of the significant harmonics for phase voltages and currents. Because the values were similar on the three phases, only the first phase values are presented.

One can show the correspondence between the real transportation system and the simulated one. The small differences between the simulated and measured values are due to the impossibility of simulation of all the possible perturbation that could occur in the traction system operation.

By comparing the harmonic voltage and current distortion limits from the transport substation with those imposed by the standards (such as ГОСТ 29205-91) [6], one can notice that these constraints are not fulfilled. That is why solutions to improve its operating conditions must be found.

CONCLUSIONS

The paper proposes a simulation model for an electric transportation system. Based on the simulation results one can visualize the waveforms of the currents and voltages in different points of the network and can also detect the problems

that appear in the system, especially those related to the distorted regime. In the same time several parameters could be calculated with acceptable errors, such as the rms values, THD factors or total powers.

Table 2 – Comparative results of the harmonic spectra of the phase voltages and currents

	Harmonic order	Rms value [V]	Percent [%]	Percent [%]
Voltage harmonics, related to the phase 1 U1	1	273	100	100
	5	8.9	3.25	3.24
	7	2.67	0.97	2.92
	11	3.86	1.41	2.60
	13	3.19	1.16	2.32
	17	2.33	0.85	1.81
	19	1.82	0.66	1.56
	23	1.92	0.7	1.1
	25	1.53	0.56	0.94
	Current harmonics, related to the phase 1 I1	1	356	100
5		76.5	21.4	19.42
7		43.9	12.3	12.56
11		31.22	8.76	7.12
13		21.77	6.11	5.36
17		17.43	4.89	3.20
19		13.08	3.67	2.48
23		11.06	3.10	1.44
25		8.25	2.31	1.12

The system is flexible; with small changes in the system structure one can simulate various cases, such as: daily peak, normal load, no load etc.

The transportation system model, realized in MATLAB/ Simulink and validated using experimental data, will offer afterwards a possibility of a cheap analysis of the possible solutions for harmonics mitigation and for power quality improvement.

REFERENCES

1 Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б. Оптимизация параметров и режимов работы городских электрических сетей: монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, М. Б. Кайдар. – Алматы : Эверо, 2016. – 176 с. – ISBN 978-601-310-762-2

2 Повышение эффективности электроснабжения городских электрических сетей: Монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, А. П. Кислов, В. П. Марковский, М. Б. Кайдар. – Павлодар : Кереку, 2016. – 153 с. – ISBN 978-601-238-674-5.

3 Шапкенов, Б. К., Темирханов, Е. У., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Тюлюгенова, Л. Б. Сети с нелинейными нагрузками, генерирующими гармоники в среде тока и напряжения. Материалы Международной научно-практической конференции «VIII Торайгыровские чтения», посвященной 25-летию независимости Республики Казахстан. – Павлодар, 2016. – Т. 6. – С. 374–380. – ISBN 978-601-238-669-1 (Т.6).

4 Кайдар, А. Б., Марковский, В. П., Кислов, А. П., Шапкенов, Б. К., Шахман, Е. Т., Кабдыкаримов, А. Е. К выбору эффективных режимов работы электромеханических систем по критериям энергетической эффективности или позиционирования. Труды VIII МНПК «Научно-технический прогресс в металлургии». – Темиртау : Карагандинский государственный индустриальный университет, 2015. – С. 47–52. – ISBN 978-601-7369-59-0.

5 Шапкенов, Б., Калиев, Б., Кайдар, А. Теория и практика энергетических преобразователей. Монография для студентов, магистрантов, аспирантов и ИТР, руководящего и обслуживающего персонала электростанций. – Saarbrücken, Germany : Изд. Lap Lambert Academic Publishing, 2014. – 461 с. [Электронный ресурс]. – http://zh.scientific.net/author/Bauyrzhan_Shapkenov

6 ГОСТ 29205-91. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от электротранспорта. Нормы и методы испытаний. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ «Совместимость технических средств электромагнитная. РАДИОПОМЕХИ ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ ОТ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА. Нормы и методы испытаний». Electromagnetic compatibility of technical means. Man-made noise from electrical transport. Limits and test methods. ОКСТУ 3102. [Электронный ресурс]. – <http://engengr.ru/gost-29205-91>

Material received on 17.08.18.

Б. К. Шапкенов¹, А. Б. Кайдар², М. Б. Кайдар³, В. П. Марковский⁴, А. П. Кислов⁵

Имитациялық моделінде қалалық электр тасымалдау жүйесінің апатты режимдері

^{1,4,5}С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;
²«Тараз химиялық паркі АЭА» БК» АҚ, Шу қ., 081000, Қазақстан Республикасы;
³«ҚазТрансГаз» АҚ, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы;
Материал 17.08.18 баспаға түсті.

Б. К. Шапкенов¹, А. Б. Кайдар², М. Б. Кайдар³, В. П. Марковский⁴, А. П. Кислов⁵

Аварийные режимы системы городского электрического транспорта на имитационной модели

^{1,4,5}Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;
²АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз», г. Шу, 081000, Республика Казахстан;
³АО «КазТрансГаз», г. Астана, 010000, Республика Казахстан.
Материал поступил в редакцию 17.08.18.

Метро, трамвай, жеңіл темір жол көлігі сияқты қалалық жолдаушылар тасымалы жүйелері (ҚЖТЖ) сенімділіктің жоғары стандарттарымен электр энергиясын жеткізуді талап етеді. Осылайша, осы көлік жүйелерін дамытудағы маңызды қадам электрмен жабдықтау жүйелерін жоспарлау және жобалау болып табылады.

Электр тасымалдау жүйесінің имитациялық моделі ұсынылған. Модельдеу нәтижелеріне сүйене отырып, желідегі әртүрлі нүктелердегі ток және кернеулердің толқындық формаларын көруге болады, сондай-ақ жүйеде туындайтын мәселелерді, әсіресе бұрмаланған режимге байланысты мәселелерді анықтауға болады. Сонымен қатар, бірнеше параметрлер орташа квадраттық мәндері, THD гармоникалық бұрмалау коэффициенттері немесе жалпы қуаттылық сияқты қолайлы қателермен есептелуі мүмкін.

Жүйе икемді; жүйенің құрылымындағы шагын өзгерістері бар, күнделікті шығы, қалыпты жүктеме, ЭТК нәтижесінде жүктеме сияқты әртүрлі жағдайларды модельдеуге болады.

MATLAB / Simulink-те іске асырылған және эксперименттік мәліметтермен расталған көлік жүйесі моделі болашақта гармониканы азайту және электр сапасын жақсарту үшін ықтимал шешімдерді арзан талдау мүмкіндігін ұсынады.

Городские пассажирские транспортные системы (ГПТС), такие как метро, трамвай, легкорельсовый транспорт требуют поставки электроэнергии с высокими стандартами надежности. Таким образом, важным шагом в развитии этих транспортных систем является планирование и проектирование систем электроснабжения.

Предложена имитационная модель системы электротранспорта. На основе результатов моделирования можно визуализировать формы сигналов токов и напряжений в различных точках сети, а также выявлять проблемы, возникающие в системе, особенно связанные с искаженным режимом. В то же время несколько параметров могут быть рассчитаны с допустимыми ошибками, такими как среднеквадратичные значения, коэффициенты гармонических искажений THD или суммарные мощности.

Система гибкая; с небольшими изменениями в структуре системы можно смитировать различные случаи, как: ежедневный пик, нормальная нагрузка, нулевая нагрузка ЭТК.

Модель транспортной системы, реализованная в MATLAB / Simulink и проверенная экспериментальными данными, впоследствии предложит возможность дешевого анализа возможных решений для снижения гармоник и улучшения качества электроэнергии.

ГРНТИ 67.09.47

М. К. Пшембаев

к.т.н., докторант, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, 220013, Республика Беларусь

ОБРАЗОВАНИЕ ЗИМНЕЙ СКОЛЬЗКОСТИ НА ДОРОГАХ И МЕХАНО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НЕЙ

Неблагоприятные условия для движения автомобилей возникают в зимнее время, когда на дорожном покрытии образуется слой снежно-ледяных отложений. По данным статистики, на обледенелых дорогах отмечается до 40% несчастных случаев и аварий. Как только на проезжей части дороги появляются такие образования, резко увеличивается их скользкость и для обеспечения безопасного движения необходимо предпринимать экстренные меры. Обледенение дорожных покрытий в зимних условиях - неизбежное природное явление. В течение 4-5 мес. в году оно отмечается практически на всех автомобильных дорогах республики. На скользкой дороге снижается скорость движения автомобилей. При снижении скорости в 2-2,5 раза производительность автомобиля уменьшается на 30-40 %, а себестоимость перевозок увеличивается на 25-30 %.

В холодный период года решающую роль в обеспечении безопасности движения играют сцепные качества дорожного покрытия. Аварийность на дорогах со снежно-ледяными отложениями в 4,2-4,6 раза выше, чем на покрытиях в сухом состоянии. Степень тяжести последствий ДТП на обледенелом покрытии увеличивается в 1,1-1,2 раза по сравнению с сухим состоянием проезжей части.

В зимних условиях способами призванными снизить скользкость покрытия являются: тепловой, фрикционный, механический, химический и комбинированный. Следует отметить, что не один из этих способов ни в отдельности, ни в сочетании с другими не в состоянии полностью решить проблему снижения сцепных качеств дорожного покрытия в холодное время года. В настоящее время наиболее действенным считается химический способ ликвидации зимней скользкости, который основан на применении противогололедных реагентов.

Ключевые слова: зимняя скользкость, антигололедный реагент, составы, дорожно-транспортные происшествия, свойства.

ВВЕДЕНИЕ

Быстрый рост автомобильного парка, значительное увеличение грузооборота и объема перевозок пассажиров предъявляют все более высокие требования к содержанию автомобильных дорог и обеспечению безопасности движения.

Особенно неблагоприятные условия для движения автомобилей возникают в зимнее время, когда на дорожном покрытии образуется слой снежно-ледяных отложений. По данным статистики, на обледенелых дорогах отмечается до 40 % несчастных случаев и аварий. Поэтому, как только на проезжей части дороги появляются снежно-ледяные образования, резко увеличивается их скользкость и для обеспечения безопасного движения необходимо предпринимать экстренные меры.

Обледенение дорожных покрытий в зимних условиях – неизбежное природное явление. В течение 4–5 мес. в году оно отмечается практически на всех автомобильных дорогах республики и ежегодно наносит огромный ущерб народному хозяйству страны. На скользкой дороге снижается скорость движения автомобилей. При снижении скорости в 2–2,5 раза производительность автомобиля уменьшается на 30–40%, а себестоимость перевозок увеличивается на 25–30%.

Перед дорожно-эксплуатационными организациями ставится задача - содержать дороги, в особенности магистральные, в течение всего зимнего периода так, чтобы снежно-ледяные отложения могли быть удалены в кратчайшие сроки с крутых спусков и подъемов, развязок, мостов, путепроводов, таможенных терминалов, на участках с кривыми малых радиусов и др.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Виды зимней скользкости

Зимняя скользкость – ледяные образования и снежные отложения на поверхности дороги, приводящие к снижению коэффициента сцепления колес автомобиля с поверхностью дороги и ухудшению ровности. Различают следующие виды зимней скользкости:

– гололедица – слой льда, образовавшийся в результате замерзания воды, которая находилась на теплом мокром покрытии и превратилась в лед при понижении температуры воздуха и охлаждении покрытия до 0 °С и ниже;

– гололед – слой льда, образовавшийся при замерзании осадков, выпадающих на сухое охлажденное покрытие;

– снежный накат – уплотненный и обледеневший при много-кратном воздействии колес автомобилей слой снега со скользкой поверхностью;

– мокрый снег – кашеобразная смесь влажного снега с водой,

образовавшаяся при выпадении мокрого снега или таянии снежного слоя на покрытии при быстром повышении температуры воздуха;

– рыхлый снег – отложения на покрытии свежевывапавшего или принесенного метелью снега.

Гололедицу и гололед чаще всего объединяют в одно понятие – гололед.

Все **мероприятия по борьбе с зимней скользкостью** по их целевой направленности можно разделить на три группы:

– снижение отрицательного воздействия образовавшейся зимней скользкости и повышение коэффициента сцепления колес с дорогой путем россыпи по обледеневшему покрытию минеральных фрикционных материалов;

– удаление с покрытия образовавшегося ледяного или снежного слоя с применением химических, механических, тепловых или комбинированных методов;

– предотвращение образования снежно-ледяного слоя или ослабление его сцепления с покрытием путем профилактической обработки покрытия противогололедными химическими веществами, введением противогололедных реагентов в состав покрытия или гидрофобизацией покрытия.

2 Сравнительные характеристики антигололедных реагентов (АГР)

В настоящее время изучено более 20 физических эффектов удаления льда (электрообогрев проезжей части мостов, использование разности теплот испарения и конденсации аммиака, геотермальный обогрев мостов и прилегающих участков дорог, гидрофобизация поверхности дороги, локальный подвод энергии на границу лед-дорожное покрытие, использование струи газов или жидкостей, ультразвуковое воздействие ножей плунжерных снегоочистителей и т.д.). Установлена либо их низкая техническая эффективность, связанная с потребностью в больших предварительных капитальных затратах, либо низкий коэффициент полезного действия, либо потребность в достаточно дорогом оборудовании. Использование комбинаций вышеуказанных физических эффектов также не дали ожидаемого экономического эффекта.

Основным реальным методом борьбы с гололедом в настоящее время является применение антигололедных реагентов (АГР), которые вызывают разрушение кристаллической структуры льда, в результате чего он тает, образуя с солями раствор, имеющий температуру замерзания более низкую, чем вода. Растворимость некоторых типичных АГР приведены в табл. 1 [1].

Таблица 1 – Растворимость АГР в воде при 0 °С

АГР	Растворимость г/100г H ₂ O
CH ₃ COOK	66,7
KCl	28,1
CaCl ₂	49,6
MgCl ₂	34,5
Ca(NO ₃) ₂	63,9
NaCl	35,7

Из данных таблицы 1 следует, что наибольшую растворимость имеют ацетат калия, а также нитрат и хлорид кальция.

Зависимость понижения температуры замерзания водных растворов АГР (Δt) от их концентрации приведена в табл. 2 [2].

Таблица 2 – Зависимость понижения температуры замерзания (Δt) водных растворов АГР от их концентрации

АГР	Δt	Концентрация АГР г/100г H ₂ O
CaCl ₂	0,05	0,11
	0,24	0,55
	0,48	1,12
	2,6	5,63
	15,23	22,02
Ca(NO ₃) ₂	51,0	48,0
	0,13	0,48
	0,55	1,98
	2,18	7,85
CH ₃ COOK	5,398	18,31
	0,10	0,28
	0,67	1,766
	1,29	3,57
	3,54	9,20
NaCl	8,14	18,47
	0,64	1,09
	2	3,45
	3,38	5,84
	4,34	7,47

Из таблицы 2 следует, что температуры замерзания разбавленных растворов АГР достаточно близки, но наиболее эффективны CaCl₂, Ca(NO₃)₂ и CH₃COOK.

Необходимо отметить также, что некоторые из приведенных веществ достаточно хорошо растворимы в смешанных или органических растворителях. Так ацетат калия хорошо растворим в глицерине (около 70г/100 г глицерина).

Содержание растворенных в воде АГР можно контролировать по плотности их растворов.

Так, плотность растворов ацетата калия и хлорида натрия приведены в табл. 3 и 4 [2, 3]:

Таблица 3 – Плотность растворов CH₃COOK

ω,%масс	1	2	4	6	8	10	12	14	16
ρ г/см ³	1,003	1,0089	1,0191	1,0293	1,9395	1,0497	1,0599	1,0703	1,0808

Продолжение таблицы 3

18	20	24	28	35	40	50	60
1,0914	1,1022	1,1244	1,1466	1,1868	1,2162	1,2761	1,3372

Таблица 4 – Плотность растворов NaCl

ω,%масс	1	2	4	6	8	10	12
ρ г/см ³	1,0053	1,0125	1,0268	1,0413	1,0559	1,0707	1,0857

Продолжение таблицы 4

14	16	18	20	22	24	26
1,1009	1,1162	1,1319	1,1478	1,1640	1,1804	1,1972

Стандартные теплоты растворения и плавящая способность АГР приведены в табл. 5 и 6. [3, 4].

Таблица 5 – Стандартные теплоты растворения АГР

АГР	ΔрастН0(298К) кДж/моль
CH ₃ COOK	-14,7
KCl	+18,4
NaCl	+5,0
CaCl ₂	-76,8
CaCl ₂ ·6H ₂ O	+19,1
Ca(NO ₃) ₂	-17,1
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	+34
MgCl ₂	-151,9
Mg(NO ₃) ₂	-91,4
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	+17,7

Экзотермические эффекты при растворении ацетата калия безводных хлоридов кальция и магния, а также безводных нитратов кальция и магния выгодно отличают их от остальных веществ, используемых в качестве АГР.

Плавающая способность в граммах растопленного льда на 1 г реагента приведены в табл. 6 [5, 6].

Таблица 6 – Плавающая способность АГР

АГР	Плавающая способность г/г
ацетат калия CH_3COOK	5,72
p-p CaCl_2 (77 %)	9,63
p-p CaCl_2 (96 %)	12,2
MgCl_2	10,8

Процесс плавления льда протекает с поглощением энергии ($\Delta\text{ПЛН}^\circ(298\text{K}) = 6,0 \text{ кДж/моль}$). Механизм процесса плавления льда отличается тем, что при попадании гранул антигололедных реагентов на поверхность льда, его частицы должны иметь на поверхности тонкий слой рассола. Этот слой образуется за счет гигроскопичности хлоридов. Так хлорид кальция растворяется в поглощенной из воздуха воде уже при относительной влажности 42%, в то время как хлорид натрия адсорбирует влагу только при относительной влажности 76%. Следовательно, вода, находящаяся на дорожном покрытии может ускорить процесс растворения, т.е. для более эффективного использования хлорида натрия его увлажняют водой или водным раствором хлорида кальция.

Эффективность применения антигололедных химических реагентов в значительной мере зависит от их плавающей способности, проявляющейся при взаимодействии системы реагент-лед. Плавающая способность определяется по количеству льда, которое плавит 1 г химического реагента в течение заданного времени. Установлено, что с понижением температуры плавающая способность всех химических реагентов уменьшается, а с увеличением времени взаимодействия веществ со льдом она возрастает. Наиболее интенсивно лед плавится в течение первого часа. Плавающая способность реагентов в значительной мере зависит также от их концентрации в рассоле. Чем выше концентрация АГР, тем больше льда плавится. Насыщенные растворы лишь немного уступают по плавающей способности аналогичным им по химическому составу твердым реагентам, поэтому возможно применение, как гранулированных реагентов, так и их рассолов. Однако с уменьшением концентрации сокращается температурный диапазон, при котором возможно применение реагентов (рис. 1) [3–7].

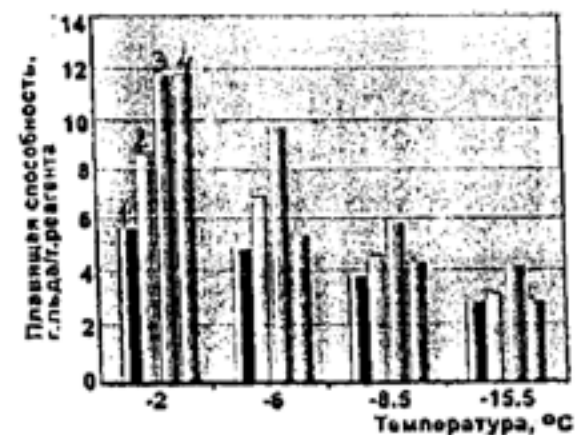


Рисунок 1 – Зависимость плавающей способности реагентов от температуры 1 – NaCl, 2 – CaCl2, 3 – CH3COOK, 4 – MgCl2

Отмечается некоторая разница в эффективности действия твердых реагентов в зависимости от их гранулометрического состава [7]. Так, мелкозернистый (2–3 мм) реагент взаимодействует со льдом быстрее, чем крупнозернистый (5–6 мм), но с течением времени их плавающая способность выравнивается. Для расплавления образующегося на дороге льда требуется израсходовать определенное количество химического реагента, в зависимости от температуры, при которой он применяется и от объема льда, подлежащего расплавлению. Чтобы расплавить весь объем льда при определенной температуре требуется эквивалентное количество реагента, которое можно рассчитать, учитывая диаграмму системы лед-реагент (рис. 2) [5–7].

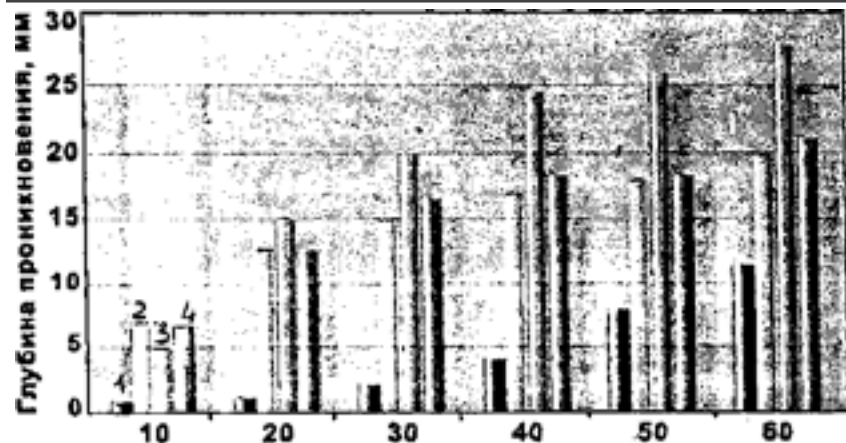


Рисунок 2 – Глубина проникновения реагентов в слой льда при температуре – 7 °С
1 – NaCl, 2 – CaCl₂, 3 – CH₃COOK, 4 – MgCl₂

Используемые в настоящее время антигололедные реагенты можно условно разделить на 4 группы [8–9].

Первая группа – хлориды натрия, калия, кальция, магния, а также их различные сочетания с другими солями (ХКМ – хлорид кальция, модифицированный, содержащий ингибиторы коррозии; ХКФ – хлорид кальция, содержащий фосфаты кальция; ХКНМ - хлорид кальция, натрия модифицированный; ХММ-биомаг-гексагидрат хлорида магния; Айсмелт – смесь хлоридов кальция и натрия, содержащие ингибитор коррозии). Температура замерзания раствора зависит от концентрации конкретного хлорида. Снижение температуры замерзания идет до достижения раствором точки эвтектики. При понижении температуры первым кристаллизуется чистый растворитель, т.е. выделяются кристаллы льда, следовательно, повышается концентрация соли в растворе и соответственно понижается температура его замерзания. При дальнейшем понижении температуры снова выделяются кристаллы льда и повышается концентрация соли. В момент достижения точки эвтектики совместно с кристаллами льда выделяются кристаллы соли. Хлористый натрий достигает точки эвтектики при концентрации раствора 23,3 % (-21,2 °С), хлористый кальций - при концентрации 29,5 % (-51 °С), хлорид магния с концентрацией 21,0 % (-33,5 °С), ацетат калия – 50% (-60 °С). При дальнейшем росте концентраций солей температура кристаллизации повышается, в твердую фазу выделяются кристаллы соли. В процессе их выделения растворы хлоридов разбавляются,

концентрация раствора падает. Разбавленные растворы имеют температуру замерзания выше, чем концентрированные и они могут замерзнуть, вызывая дополнительную скользкость. Поэтому на практике хлористый натрий рационально использовать при температуре воздуха до -12°С, хлористый кальций – до -34 °С.

Процесс растворения кристаллов NaCl идет с поглощением тепла и очень медленно. Кристаллу соли, помещенному на сухую поверхность, первоначально необходимо накопить тепловую энергию из окружающей среды до момента, пока на поверхности кристалла не образуется жидкая пленка. Образовавшийся раствор активизирует растворение оставшейся соли. Под действием собственного веса и при относительно медленной степени растворимости отдельные частицы хлористого натрия проникают через слой льда на поверхность дорожного покрытия, что, в результате, ослабляет связь между дорожным полотном и слоем льда. Рассол, образующийся вокруг этих частиц, растекаясь по дорожному покрытию, отслаивает лед от дорожного покрытия. После того как кристалл растворится, он продолжает накапливать тепловую энергию за счет охлаждения поверхностного слоя дороги.

Растворение хлористого кальция происходит значительно быстрее, чем растворение хлористого натрия. Причина в том, что хлористый кальций одновременно гигроскопичен и растворим в поглощенной из воздуха влаги. Таким образом, CaCl₂ в твердом состоянии адсорбирует влагу до тех пор, пока не растворится. Рассол будет продолжать адсорбировать влагу до тех пор, пока не будет достигнуто равновесие между упругостью паров раствора и упругостью паров воздуха. Если влажность воздуха повышена, то раствор абсорбирует больше влаги. Если влажность понижена, то вода будет испаряться из раствора. Во время растворения хлористого кальция выделяется большое количество тепла (табл. 5). Известно, что с большим выделением тепла идет процесс образования гидратов (гидратация). Молекула хлористого кальция присоединяет 6 молекул воды с образованием кристаллогидрата CaCl₂·6H₂O. Растворение кристаллогидрата идет с поглощением тепла. Например, при растворении 1 моля безводного хлористого кальция выделяется 76,8 кДж, а при растворение 1 моля шестиводного кристаллогидрата поглощается 19,1 кДж.

Использование хлористого кальция для борьбы с зимней скользкостью ограничивается температурой -34 °С. Благодаря большой скорости растворения, меньшее количество хлористого кальция затрачивается в период снегоуборочных работ.

Если CaCl₂ и NaCl применять в качестве антигололедного реагента совместно, CaCl₂ – 15–20 % (мас.) и NaCl – 80–85 % (мас.), то получаем смесь, обладающую синергетическим действием, т.е. совместное действие

двух хлоридов производит больший эффект, чем сумма их индивидуальных воздействий. Этот эффект объясняется тем, что активно адсорбирующий влагу из внешней среды и растворяющийся с экзотермическим эффектом хлорид кальция, значительно увеличивает скорость растворения хлорида натрия за счет наличия жидкой фазы и выделяющегося тепла. Создание оптимальных смесей хлоридов натрия и кальция позволяет применять препарат при более низких температурах, чем один хлористый натрий. Хлористый натрий в смеси с хлористым кальцием быстрее растворяется, кроме того при этом повышается плавящая способность реагента.

Вторая группа - антигололедных реагентов включает нитраты кальция, магния и их смеси с мочевиной. Эти гранулированные антигололедные реагенты выпускаются под марками:

- АНС – смесь нитрата кальция (38–40 % мас.) и мочевины (62–60 % мас.);
- НКММ (антилед) - нитрат кальция-магния - мочевина (19–20 % мас., 17–19 % мас., и 56–60 % мас. соответственно);
- НКМ - нитрат кальция-мочевина (40 % мас., и 60 % мас. соответственно).
- эвтектические температуры для АНС (-22 °С), НКММ (-32 °С) и НКМ (-22 °С). Температурная граница применения соответственно (-12); (-20); (-12 °С).

Вышеуказанные реагенты можно использовать в качестве добавки к фрикционным материалам в количестве 2–3 % мас.

Производители утверждают, что НКММ является экологически чистым продуктом, обладает низкой коррозионной активностью по отношению к металлам и строительным материалам. Реагент применяют на улицах, тротуарах, в подземных переходах и в аэропортах.

Расход реагента 10–80 г/м² в зависимости от температуры внешнего воздуха от (-2) до (-20°С). Препарат обладает удовлетворительными свойствами по биодеструкции по сравнению с хлоридами. Реагент можно использовать как в гранулированном виде, так и в виде растворов. Плавящая способность 7 г льда на 1 г реагента при использовании 30 %-ного раствора [8].

Однако независимые экологические исследования показали, что реагент НКММ отрицательно влияет на водоемы и зеленые насаждения.

Третья группа антигололедных реагентов включает соли уксусной и муравьиных кислот:

- Антигор, Safeway, КА – ацетат калия, 50 % раствор с добавкой ингибиторов коррозии
- Нордикс – ацетат калия и глицерин
- СМА – ацетаты кальция и магния
- Легхимол – $n\text{HCOONa} \cdot m\text{CH}_3\text{COONa} \cdot p(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$
- Антиснег-1 – ацетат аммония, 30% раствор

- Safeway SR – формиат натрия гранулированный.

Антигололедные реагенты на ацетатной основе обладают высокими показателями экологической безопасности, по которым они не имеют аналогов [8].

Ацетатные реагенты безопасны для человека, системы подземных вод, животных и растений. Так реагенту НОРДИКС-П присвоен низший 4 класс опасности (малоопасный продукт).

Ацетаты проходят полную биодеструкцию в водных системах в течение ограниченного периода времени, не создавая при этом проблемы нехватки кислорода для водных организмов. Кроме того, ацетатные реагенты не проходят стадий деструкции с образованием иона аммония и, следовательно, не являются токсичными для рыб. Они обладают хорошими свойствами по биодеструкции при меньшей потребности в кислороде в сравнении с любыми другими противообледенителями. Благодаря замене хлоридов, мочевины и гликолей, используемых в других реагентах для борьбы с гололедом, устраняются все проблемы, связанные с хлоридным и нитратным загрязнением сточных вод. При использовании ацетатов отпадает необходимость сбора и очистки сточных вод.

Препарат НОРДИКС-П способен предупреждать или удалять гололед в любых погодных-климатических условиях.

НОРДИКС эффективно борется со льдом как в обычных условиях образования гололеда (перепады температур около 0 °С), так и в экстремальных, когда иные химреагенты не в состоянии удалить лед, а именно: образование гололеда в диапазоне от 0 до -34 °С при резких перепадах отрицательных температур (изморозь), в условиях переохлажденного дождя.

Испытания показали, что присадка, используемая в реагенте НОРДИКС, эффективно предотвращает коррозию металлов, покрытий, препятствует разрушению резины и обеспечивает его полное соответствие современных российским и международным требованиям авиации.

Ацетаты обладают способностью удерживаться на дороге в незначительных количествах даже после ее механической очистки. При благоприятных погодных условиях НОРДИКС-П может сохранять свои свойства свыше 4 суток без необходимости повторных обработок.

Проведенные исследования и опыт применения ацетатов показали, что для достижения нужных значений коэффициента сцепления, требуется от 5 до 20 минут в зависимости от погодных условий. Это делает НОРДИКС-П незаменимым для аэропортов с высокой интенсивностью полетов и аэродромов военного назначения. Быстродействие определяется тем, что реакция взаимодействия ацетатов с водой протекает с выделением тепла, в то время как аналогичная реакция азотсодержащих реагентов, напротив, с поглощением тепла.

Низкая точка замерзания ($-58\text{ }^{\circ}\text{C}$), присущая растворам ацетатных солей, определяет высокую кратность разбавления реагента до его замерзания. Так, например, замерзание НОРДИКС-П при температуре ($-2\text{ }^{\circ}\text{C}$) произойдет в случае, если он будет разбавлен выпадающими осадками в 31 раз. Для сравнения 50 %-ный раствор АНС замерзает в аналогичных условиях после 7-кратного разбавления. Как следствие, ацетаты действуют в одинаковых условиях примерно в 4 раза дольше азотсодержащих реагентов. В сочетании с эффектом последствия отмеченные свойства позволяют уменьшить количество обработок в течение сезона.

Низкая точка замерзания реагента позволяет организовать его хранение на открытом воздухе. Жидкая форма реагента НОРДИКС-П обеспечивает отсутствие проблемы слеживаемости, свойственной гранулированным веществам, и не требует наличия специальных растирочных узлов. Срок хранения реагента более 2-х лет. Антигор (50 % раствор ацетата калия) может применяться до $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Расход реагента в зависимости от температуры окружающего воздуха от 50 до 100 г/м^2 . Время плавления льда при $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет 10 минут.

Антигололедный реагент «Легхимол» предназначен для ликвидации и предупреждения обледенения на всех видах дорожных и аэродромных покрытий при температуре окружающего воздуха до ($-28\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Реагент не горюч, не взрывоопасен, не токсичен, не коррозионноактивный к материалам авто-техники, устойчив в интервале температур от -60 до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$, является препаратом высокой экологической эффективности, относится к веществам 4-ого класса опасности. При температуре ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) и норме расхода 20 г/м^2 время удаления льда толщиной до 2 мм составляет 10 мин, а при расходе 70 г/м^2 лед толщиной 55 мм исчезает через 25 минут. Предупреждение гололеда – 2 суток. Способ применения - пескоразбрасывающая машина. Возможно применение «Легхимиол» в виде водного раствора или в смеси с песком (50 кг на тонну смеси). Оптимальная концентрация водного раствора «Легхимиол» 25 %. Норма расхода водного «Легхимиола» - $83,8\text{ г/м}^2$.

Противогололедный реагент Антиснег-1 представляет собой 30 % раствор ацетата аммония. Температура эвтектики ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Плавающая способность 4,8 г льда на 1 г реагента при температуре ($-5\text{ }^{\circ}\text{C}$). При гидролизе реагента образуется гидроксид аммония и уксусная кислота. Поэтому реагент можно применять только на хорошо проветриваемых площадях и на возвышенностях.

Препараты Safeway – продукция немецкой фирмы Clariant, поставляется во все аэропорты Германии. Отличительной особенностью этих реагентов является их высокая эффективность, инертность по отношению к металлам к бетону и экологическая безопасность.

К недостаткам ацетатных реагентов можно отнести их относительно высокую стоимость.

Четвертая группа – антигололедные реагенты на базе гликолей, глицерина и спиртов.

Так температура замерзания 52 % мас. водного раствора этиленгликоля составляет ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) раствора этилового спирта ($-41\text{ }^{\circ}\text{C}$, 56 % мас.) раствора глицерина ($-39\text{ }^{\circ}\text{C}$, 70 % мас.). Представителем реагентов этой группы является жидкость Е, разработанная американской компанией Criotech.

Жидкость Е является высокоэффективной, безопасной для окружающей среды жидкостью для удаления льда, которая производится на основе ацетата калия, обогащенного гликолем и рядом других веществ. Жидкость Е успешно прошла испытания на военно-воздушных базах на Аляске, где эксплуатируется в настоящее время при температуре ниже минус $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Жидкость Е с конца 1991 года применяется в более чем 200 гражданских и военных аэропортах.

Жидкость Е наиболее эффективна как антиобледенитель, примененный перед началом снежных или снежно-дождевых осадков. Растекаясь по поверхности жидкость Е предотвращает прилипание снега или льда на взлетно-посадочной полосе (ВПП), а также не служит концентратом снега как другие антигололедные реагенты.

Экономически выгодно использовать жидкость Е при температуре ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Согласно статистике, иногда срок до повторного применения составляет 11 дней.

Жидкость Е удаляет лед быстро и не оставляет скользкой пленки как это бывает после применения гликолевых реагентов. Эта жидкость абсолютно безопасна для окружающей среды. Экологическая безопасность подтверждена в тех аэропортах, которые до этого использовали гликоль и соединения на основе мочевины.

Рекомендуемая схема применения антиобледенительной жидкости Е:

- антиобледенительная машина типа ВАТТС впрыскивает жидкость Е в образования утрамбованного снега или льда.

- фронтальный щеточный очиститель типа Sweepster удаляет отслоившийся лед с ВПП.

- при необходимости ВПП сушится воздуходувкой.

Жидкость Е хранится под открытым небом при температуре не ниже $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3 Профилактические и аварийные АГР.

В целях снижения сил смерзания льда с поверхностью дорожного покрытия можно рекомендовать два метода применения реагентов: профилактический и аварийный [10–13].

Профилактический метод заключается во внесении АГР в лед или, точнее, в образовании нижнего, пограничного с поверхностью дороги, слоя льда из растворов реагентов. Метод основан на особенностях физико-механических свойств морского льда. Известно, что увеличение солёности морского льда снижает его прочность. Меньшая прочность морского льда по сравнению со льдом из пресной воды обусловлена присутствием в нем солей, и в первую очередь хлоридов. Лед, содержащий всего 1% хлорида натрия или нитрит-нитрата кальция (ННК), отличается от обычного значительно меньшей прочностью. Следует также отметить, что степень снижения прочности льда, содержащего реагенты, практически не зависит от того, из раствора какого реагента состоит лед. Было установлено, что прочность льда, образованного из растворов реагентов, снижается при повышении концентрации раствора. Так, лед, образованный из раствора хлорида натрия при температуре -10°C , имел мгновенные силы смерзания 305 Н/см^2 при концентрации раствора 0,25 %, при увеличении концентрации до 1 % силы сцепления уменьшились до 170 Н/см^2 . Дальнейшее повышение концентрации раствора почти не сказывается на прочности льда. Влияние концентрации раствора реагента ННК на величину сил смерзания при сдвигании показывает, что повышение концентрации раствора с 0,25 до 2 % вызывает уменьшение удельных сил смерзания при сдвигании льда почти в 2 раза. Исследователями установлено, что силы смерзания льда, образующегося на дорожном покрытии, превышают прочность льда при действии на него сдвигающих или растягивающих усилий. Поэтому при сдвигании образцов льда обеспечить его полное отделение от бетона практически невозможно. В противоположность этому при сдвигании льда, образованного из раствора реагентов концентрацией всего 0,25 %, достигается полное его отделение от поверхности бетона.

Установлено, также, что температура льда оказывает влияние на величину смерзания, что вытекает из сущности процесса образования льда из растворов. Известно, что при замерзании растворов хлоридов низкой концентрации начинает выделяться чистый лед, что сопровождается повышением концентрации соли в оставшемся растворе. При дальнейшем понижении температуры концентрация раствора постепенно повышается. Растворы хлоридов и других солей распределяются в виде пленок или изолированных включений по границам кристаллов льда. Пленки или включения нарушают межкристаллические связи и при действии нагрузок, вызывающих деформацию, служат своего рода смазкой, т.е. способствуют взаимному перемещению кристаллов. Благодаря этому, прочность льда, содержащего растворы хлоридов, снижается по мере увеличения его солёности. Эти пленки равновероятно могут размещаться в пограничном слое

льда, ослабляя силы взаимодействия кристаллов льда и подложки. Снижение температуры вызывает уменьшение объема раствора, распределенного в объеме льда, и повышение концентрации раствора. Таким образом, сокращается объем раствора, образующего на поверхности кристаллов пленки и отдельные включения, что способствует повышению прочности льда и сил смерзания с подложкой. Вместе с тем следует отметить, что несмотря на сравнительно большую величину сил смерзания (например, при концентрации раствора 0,25 % и температуре -20°C они достигают 100 Н/см^2) при сдвигании образцов льда обеспечивается их полное, без остатков, отделение от поверхности бетона.

На основании вышеуказанного, можно сделать следующие выводы:

1 Лед, образующийся из растворов реагентов низкой концентрации, обладает меньшими прочностью и силами смерзания с бетоном по сравнению со льдом из пресной воды.

2 Изменение прочности льда и сил смерзания обусловлено особенностями кристаллизации растворов реагентов при замерзании.

3 Введение реагентов, растворы которых имеют низкие эвтектические температуры, в пограничной с дорожным покрытием слой льда уменьшает силы смерзания и позволяет полностью удалить лед механизированным способом.

Для практического использования этого метода достаточное воздействовать реагентами на небольшой по высоте пограничный с дорожным покрытием слой льда, что можно осуществить путем предварительной обработки дорожного покрытия реагентами.

При понижении температуры льда силы смерзания увеличиваются. Особенно резко они возрастают при температуре льда, близкой к эвтектической для реагента, которым обработано дорожное покрытие. Так, например, при обработке бетона хлоридом натрия по норме 60 г/м^2 при понижении температуры льда от -10 до -15°C силы смерзания увеличились в 1,3 раза, а при понижении температуры от -15 до -20°C – уже в 1,6 раза. Обнаружено, что при температурах льда, значительно более высоких, чем эвтектические, удельные силы смерзания почти не зависят от вида реагентов. Только при температуре смерзания, близкой к эвтектической, на величину сил смерзания оказывает влияние вид реагента [11].

Было установлено, что наиболее эффективно на величину сил смерзания влияют реагенты, крупность кристаллов которых не превышает 4 мм.

Аварийный метод применяется в том, случае, когда вследствие плохого качества работ по очистке и уборке снега на дорожном покрытии образуются участки, покрытые слоем льда. Этот метод заключается в распределении поверхности льда крупных кристаллов реагентов, которые образуют в

слое льда каналы, заполненные раствором реагентов. При определенном соотношении высоты слоя льда и величины кристаллов раствор, заполняющий канал, достигает дорожное покрытие и разрушает пограничный слой льда в зоне, прилегающей к каналу. Если каналы расположены вблизи друг от друга, то происходит полное разрушение пограничного с дорожным покрытием слоя льда. В результате проведенных исследований [13] было обнаружено, что образование сквозных каналов в слое льда возможно только при определенном соотношении крупности кристаллов реагента, высоты слоя льда и его температуры. Так, например, при крупности кристаллов около 3 мм и температуре -16°C глубина каналов достигает всего 10 мм. Глубина канала 30 мм при той же температуре может быть получена при использовании кристаллов реагентов размером около 10 мм.

Скорость образования каналов зависит от вида применяемых реагентов. Так, например, при применении хлорида кальция и нитрит-нитрат-хлорида кальция (ННХК), особенно в течение первого часа, глубина каналов увеличивается почти в 2 раза быстрее, чем при применении хлорида натрия.

Силы смерзания могут быть уменьшены только при условии, что канал достигнет поверхности дороги, а раствор реагента, заполняющий канал будет иметь концентрацию выше равновесной при данной температуре льда.

В этом случае раствор будет взаимодействовать с нижним слоем льда и способствовать разрушению некоторой зоны пограничного слоя вокруг канала.

В результате проведенных исследований установлено:

– распределение крупных кристаллов реагентов по поверхности уже образовавшегося слоя льда высотой до 20 мм может вызвать уменьшение величины сил смерзания;

– уменьшение величины сил смерзания достигается благодаря образованию под кристаллами реагентов каналов, заполненных раствором, который способствует разрушению пограничного с дорожным покрытием слоя льда в некоторой зоне вокруг канала.

На основании изложенного, могут быть даны следующие практические рекомендации:

1 Распределение реагентов по дорожному покрытию до снегопада с последующим образованием на нем льда обеспечивает снижение величины сил смерзания. Норма распределения реагентов должна быть $60\text{--}120\text{ г/м}^2$, размеры кристаллов не должны превышать 3–4 мм.

2 Распределение крупных кристаллов реагентов по поверхности уже образовавшегося льда также позволяет снизить величину сил смерзания. Норма распределения реагентов при высоте слоя льда не более 20 мм должна быть $0,3\text{--}0,4\text{ кг/м}^2$ при крупности кристаллов 3–5 мм. Лед следует убирать через 3–4 ч после обработки реагентами.

3 В качестве профилактического АГР могут быть рекомендованы растворы ацетата калия, а также растворы хлоридов кальция и натрия. В качестве аварийного АГР можно рекомендовать гранулированный реагент, состоящий из смеси хлоридов кальция и натрия, содержащий ингибитор коррозии бетона.

4 Решение о возможности применения АГР выносится в результате сравнения полученных в ходе выполнения лабораторных или дорожных испытаний данных для испытуемого реагента и контрольного, апробированного практикой борьбы с зимней скользкостью. Но в ходе таких сравнительных испытаний нередко в зависимости от шероховатости покрытия, температуры, концентрации реагентов получаются противоположные результаты – в одних условиях преимущества демонстрирует один реагент, в других – реагенты меняются местами. Реагенты характеризуются большим количеством свойств, которые проявляют себя по-разному в зависимости от конкретных характеристик условий взаимодействия шины с покрытием. Становится очевидным, что методика проведения сравнительных испытаний должна охватывать все условия возможной работы реагентов, однако, достичь этого нельзя, поскольку на практике число сочетаний параметров, определяющих сцепные качества покрытий, имеющих на своей поверхности реагенты, чрезвычайно велико. В связи с этим, представляется целесообразным выделить главные факторы, влияющие на сцепные качества покрытий, обработанных реагентами. Необходимо разработать комплексную методику, которая бы по результатам ограниченного количества лабораторных испытаний реагентов, позволила бы прогнозировать их влияние на безопасность движения при применении испытанных реагентов на конкретной сети дорог в конкретных погодных условиях, присущих холодному периоду года [8].

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ литературы по используемым антигололедным реагентам позволяет сделать следующие расширенные выводы:

В холодный период года решающую роль в обеспечении безопасности движения играют сцепные качества дорожного покрытия. Аварийность на дорогах со снежно-ледяными отложениями в 4,2–4,6 раза выше, чем на покрытиях в сухом состоянии. Степень тяжести последствий ДТП на обледенелом покрытии увеличивается в 1,1–1,2 раза по сравнению с сухим состоянием проезжей части.

В зимних условиях способами призванными снижать скользкость покрытия являются: тепловой, фрикционный, механический, химический и комбинированный. Следует отметить, что не один из этих способов ни в отдельности, ни в сочетании с другими не в состоянии полностью решить

проблему снижения сцепных качеств дорожного покрытия в холодное время года. В настоящее время наиболее действенным считается химический способ ликвидации зимней скользкости, который основан на применении противогололедных реагентов.

Требования к АГР во многих странах стандартны. Известны основные требования к АГР: низкая температура замерзания растворов, высокая плавящая способность, минимальная экологическая нагрузка, низкая коррозионная активность при взаимодействии с металлическими частями транспортных средств и дорожными покрытиями. Однако, необходимо признать, что главным требованием к АГР является обеспечение значений коэффициента сцепления, достаточных для безопасного движения.

Понижение температуры замерзания водных растворов электролитов и неэлектролитов, связано с изменением структуры раствора и количеством введенного в него реагента.

Двойные системы «реагент-вода» могут либо иметь, либо не иметь эвтектическую точку с минимальной температурой замерзания. Системы с эвтектикой образуют, как твердые, так и жидкие реагенты.

При быстром охлаждении концентрированных водных растворов электролитов и неэлектролитов образуются фазы, как кристаллического, так стеклообразного льда. Этот эффект наблюдается для растворов веществ, молекулы которых взаимодействуют с молекулами воды через водородные связи.

Переход к тройным системам с участием неорганических, органических или смеси неорганических и органических реагентов и воды, позволяет снизить температуры замерзания растворов по сравнению с двойными системами.

Причем для некоторых систем наблюдается синергетический эффект, когда совместное действие двух компонентов производит больший эффект, чем сумма их индивидуальных воздействий. Примером такой системы является система $\text{NaCl}-\text{CaCl}_2-\text{H}_2\text{O}$. При соотношении 7 : 32 : 61 % мас., с температурой замерзания (-45°C). Еще более эффективной является система ацетат калия-глицерин-вода. Антигололедный реагент в этой системе имеет температуру замерзания (-60°C).

Наиболее перспективными системами для разработки составов антигололедных реагентов пролангированного действия являются системы:

- NaCl -глицерин-вода;
- NaCl -этиленгликоль-вода;
- NaCl -изопропиловый спирт-вода;
- ацетат калия-изопропиловый спирт-вода;
- глицерин-изопропиловый спирт-вода;
- гликоли-изопропиловый спирт-вода;

- CaCl_2 -изопропиловый спирт-вода;
- ацетаты кальция и магния-изопропиловый спирт-вода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Справочник химика: Изд. «Химия» – М. : Л. – Ч. III. – 1968.
- 2 **Самойлов, О. Я.** Структуры водных растворов электролитов и гидратация ионов // О. Я. Самойлов. – М. : Академиздат, 1957. – 182 с.
- 3 **Крестов, Г. А.** Термодинамика ионных процессов в растворах // Г. А. Крестов. – Л. : Химия, 1973. – 316 с.
- 4 **Лещенко, А. К.** Структуры водных растворов // А. К. Лещенко, А. С. Лилеев. – М. : Наука, 1981. – 137 с.
- 5 **Белоусов, В. П.** Термодинамика водных растворов неэлектролитов // В. П. Белоусов, М. Ю. Панов. – Л. : Химия, 1983. – С. 110–118.
- 6 **Франкс, Ф.** Вода и водные растворы при температурах ниже 0°C // Ф. Франкс. – Киев : Наукова думка, 1985. – С. 176–256.
- 7 **Бялобжеский, Г. В.** Борьба с зимней скользкостью на автомобильных дорогах // Г. В. Бялобжеский, М. М. Дербенева, В. И. Мазепова, Л. М. Рудаков. – М. : Транспорт, 1975. – 112 с.
- 8 **Ветрова, В. В.** Влияние антигололедных реагентов на дорожные условия и безопасность движения на автомагистралях. Автореф. дисс. канд. техн. наук // В. В. Ветрова. – М., 2006.
- 9 Автомобильные дороги и мосты: Противогололедные материалы для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах и городских улицах. ФГУП «РосдорНИИ». – М., 2006. – 502 с.
- 10 **Ханке, Х.** Обслуживание дорог в ФРГ зимой с помощью увлажненной соли // Х. Ханке. – Автомобильные дороги, 1993. – № 1. – С. 26–29.
- 11 **Зонов, Ю. Б.** Выбор борьбы с зимней скользкостью автомобильных дорог в целях повышения безопасности движения автомобилей. Автореферат на соискание ученой степени к.т.н. // Ю. Б. Зонов. – М., 1989. – 22 с.
- 12 Зимнее содержание дорог. Пер. с нем. – М. : Транспорт, 1977. – с. 176.
- 13 Автомобильные дороги : Научн.-техн. достижения и передовой опыт в области автомоб. дорог : Инф. сб. / ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. – М., 1993. – № 7. – С. 39–40.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

М. К. Пшембаев

Жолдарда көктайғақтың орнауы және онымен механикалық-химиялық әдіспен күрес

Белорус ұлттық техникалық университеті,
Минск қ., 220013, Белорус Республикасы.
Материал 17.08.18 баспаға түсті.

M. K. Pshenbayev

The formation of winter slippery conditions on the roads and mechanical and chemical methods of dealing with it

Belarusian National Technical University,
Minsk, 220013, Republic of Belarus,
Material received on 17.08.18.

Автокөліктердің қозғалысы үшін қолайсыз жағдайлар қыста, мұз қабатында қар мен мұз қабатының қабаты қалыптасқан кезде пайда болады. Статистикаға сәйкес, мұзды жолдарда жазатайым оқиғалар мен жазатайым оқиғалардың 40 %-ына дейін байқалады. Жолдың жүріс бөлігіндегі осындай түзілістер пайда болғаннан кейін, олардың тайғақ сезімталдығы күрт артады және қауіпсіз қозғалысты қамтамасыз ету үшін төменше шаралар қабылдануы керек. Қыста қалыңдаған мұздану - бұл табиғи құбылыс. 4-5 ай ішінде. бұл жыл республиканың барлық автожолдарында атап өтіледі. Тегіс жолда машиналардың қозғалыс жылдамдығын төмендетеді. Автокөліктің жылдамдығы 2–2,5 есе азайған кезде машинаның жұмысы 30–40% -ға, ал тасымалдау құны 25–30 %-ға дейін артады.

Суық мезгілде қозғалыс қауіпсіздігін қамтамасыз етуде жол бетінің қосылыс сапасы шешуші рөл атқарады. Қар аралас шөгінділердегі жолдардағы апаттың деңгейі құрғақ беттерге қарағанда 4.2-4.6 есе жоғары. Жол-көлік оқиғасының құрғақ күйімен салыстырғанда мұздың бетіндегі салдардың ауырлығы 1,1–1,2 есе артады.

Қыс мезгілінде жабынның сырғуын төмендетуге арналған әдістер: жылу, үйкеліс, механикалық, химиялық және аралас. Айтпа кету керек, осы әдістердің ешқайсысы, жеке немесе басқалармен бірге, суық мезгілде жол бетінің адгезиялық қасиеттерін азайту проблемасын толығымен шеше алмайтынын атап өткен жөн. Қазіргі кезде мұздануға қарсы агенттерді пайдалануға негізделген қысқы сырғуды жоюдың химиялық әдісі ең тиімді.

Unfavorable conditions for the movement of vehicles occur in winter; when a layer of snow and ice deposits forms on the road surface. According to statistics, up to 40% of accidents and accidents are observed on icy roads. As soon as such formations appear on the carriageway, their slippery sensitivity increases dramatically and emergency measures must be taken to ensure safe movement. Pavement icing in winter conditions is an inevitable natural phenomenon. Within 4–5 months in the year it is celebrated on almost all highways of the republic. On a slippery road decreases the speed of movement of cars. With a decrease in speed of 2–2.5 times the performance of the car decreases by 30–40%, and the cost of transportation increases by 25–30%.

In the cold season, the coupling qualities of the road surface play a decisive role in ensuring traffic safety. The accident rate on roads with snow-icy deposits is 4.2–4.6 times higher than on dry surfaces. The severity of the consequences of accidents on the icy surface increases 1.1-1.2 times compared with the dry state of the roadway.

In winter conditions methods designed to reduce the slipperiness of the coating are: thermal, friction, mechanical, chemical and combined. It should be noted that none of these methods, either individually or in combination with others, can fully solve the problem of reducing the adhesion qualities of the road surface during the cold season. Currently, the most effective is the

chemical method of eliminating winter slipperiness, which is based on the use of anti-icing agents.

ГРНТИ 67.09.33

М. К. Пшембаев

к.т.н., докторант, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, 220013, Республика Беларусь

ИНГИБИРОВАННЫЙ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ БЕТОННЫХ ДОРОГ

Ингибиторами коррозии бетона могут служить материалы, которые останавливают или ослабляют его коррозию, связанную с вымыванием и выщелачиванием гидроксида кальция из структуры цементного камня. Такими материалами могут быть: гексафторсиликат магния, фосфаты натрия и калия и другие вещества, которые переводят $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в труднорастворимое состояние. Обычно эти вещества применяют путем пропитки бетона в процессе устройства дорожного покрытия или во время его эксплуатации.

Для оценки эффективности данного технического решения был проведен эксперимент на образцах-кубиках дорожного бетона размером 7x7x7 см, выдержанных 28 суток в нормальных условиях. Смесь наносили на все грани образцов-кубиков из дорожного бетона, выдерживали в нормальных условиях 2 суток и испытывали на замораживание до -40 °С и оттаивание в 5 %-ном растворе хлорида натрия. Этот метод в наибольшей мере выявляет устойчивость поверхности бетона к знакопеременным температурам в условиях применения противогололедных материалов. Морозостойкость оценивали по потерям массы образцов (6 штук в каждой серии испытаний) после 400 циклов замораживания-оттаивания. Показатель морозостойкости (среднее значение из 6 испытаний) для данного примера составлял 1,6 г.

Ключевые слова: коррозионной активности, соли, реагент, составы, дорожный бетон, противогололедный материал

ВВЕДЕНИЕ

Значительное влияние на срок службы бетона оказывают многочисленные циклы его замораживания и оттаивания во влажной среде, а для дорожного

бетона, где присутствуют еще и противогололедные реагенты, эффект этого разрушающего воздействия многократно усиливается. Как противостоять этому негативному явлению, когда по условиям безопасности движения и экологическим соображениям на дорогу высыпают большое количество хлорида натрия?

Решение данного вопроса основывалось на устранении аналогичной проблемы, связанной с коррозией металлов. Для защиты металла от коррозии используют ингибиторы, которые блокируют процесс его окисления. Ингибиторами коррозии бетона могут служить материалы, которые останавливают или ослабляют его коррозию, связанную с вымыванием и выщелачиванием гидроксида кальция из структуры цементного камня [1].

Таковыми материалами могут быть: гексафторсиликат магния [2], фосфаты натрия и калия [3] и другие вещества, которые переводят $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в труднорастворимое состояние. Обычно эти вещества применяют путем пропитки бетона в процессе устройства дорожного покрытия или во время его эксплуатации. Однако, это техническое решение имеет ограниченный срок эффективного действия. Со временем агрессивный противогололедный материал проникает вглубь бетона, ниже уровня, образовавшегося защитного слоя. В связи с этим было предложено ингибиторы коррозии бетона вводить непосредственно в противогололедный материал с тем, чтобы вместе с раствором реагента в верхние слои бетона поступило вещество, блокирующее негативное действие антигололедного материала.

В нашем случае традиционную песчано-солевую смесь готовили в соотношении (хлорид натрия : песок = 2 : 7) и увлажняли в процессе распределения по дороге раствором фосфорной кислоты с расходом 0,5–1,5 % от массы песчано-солевой смеси. Это позволило повысить морозостойкость бетона за счет снижения капиллярного всасывания раствора противогололедного материала в бетон и предотвратить замерзания раствора в его порах. При этом, количество фосфорной кислоты в указанных пределах достаточно, чтобы прошла реакция взаимодействия кислоты с гидроксидом кальция в бетоне, предотвращающая его растворение при действии противогололедных материалов, и вымывание из пор бетона. Кольматация пор снижает растворимость компонентов бетона за счет снижения капиллярного всасывания раствора противогололедного материала, который способен замерзнуть при низких температурах и разрушать структуру бетона.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для оценки эффективности данного технического решения был проведен эксперимент на образцах-кубиках дорожного бетона размером 7x7x7 см, выдержанных 28 суток в нормальных условиях. Образцы дорожного бетона

обрабатывали противогололедным материалом, состоящим из смеси 20% хлорида натрия, 70 % песка. Затем смесь увлажняли 40 %-ным раствором фосфорной кислоты (табл. 1), что соответствует 8 % песчано-солевой смеси.

Смесь наносили на все грани образцов-кубиков из дорожного бетона, выдерживали в нормальных условиях 2 суток и испытывали на замораживание до -40 °С и оттаивание в 5 %-ном растворе хлорида натрия. Этот метод в наибольшей мере выявляет устойчивость поверхности бетона к знакопеременным температурам в условиях применения противогололедных материалов. Морозостойкость оценивали по потерям массы образцов (6 штук в каждой серии испытаний) после 400 циклов замораживания-оттаивания. Показатель морозостойкости (среднее значение из 6 испытаний) для данного примера составлял 1,6 г (табл. 1). Эксперименты проводили с разным содержанием фосфорной кислоты.

Таблица 1 – Оценка морозостойкости дорожного бетона

№ п/п	масса 40 %-ного р-ра H ₃ PO ₄ от массы смеси %	Морозостойкость: потеря массы образцов, г
без обработки	-	3,2
1	0,5	1,6
2	1,0	1,2
3	1,5	1,2
4	2,0	1,15

Из данных, приведенных в таблице 1, следует, что оптимальным является расход фосфорной кислоты в пределах 1–1,5 % от массы смеси. Уменьшение расхода кислоты снижает положительный эффект, а увеличение расхода сверх 1,5 % существенно не повышает морозостойкость. Морозостойкость бетона в условиях предлагаемого применения противогололедного материала с ингибиторами коррозии повышается в 1,5–2,0 раза (потери массы образцов соответственно уменьшаются).

Для опытного применения данного способа обработки дорог с цементобетонным покрытием использовали солерапределитель КДМЭД-4056, имеющий систему распределения рассола для увлажнения противогололедных материалов (рис.1).



Рисунок 1 – Машина для распределения увлажненных противогололедных материалов КДМ ЭД – 4056

Фосфорная кислота вводится в состав песчано-солевой смеси путем перемешивания на ее площадке с помощью погрузчика (рис.2).



Рисунок 2 – Перемешивание песчано-солевой смеси с фосфорной кислотой на крытом складе

После применения такого противогололедного материала проверяли наличие образовавшихся фосфатов кальция в бетонном покрытии. Для этого из них брали вырубку и тестировали путем нанесения на их скол молибдата аммония $(\text{NH}_4)_6\text{M}_0_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, который применяли для определения наличия фосфат иона, с которым он образует характерный желтый осадок состава $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4\cdot 12\text{M}_0_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

В результате было установлено, что вместе с раствором противогололедного реагента ингибитор проникает на глубину до 10 мм, что существенно больше, чем при обычной пропитке, когда глубина пропитки не превышает 1–2 мм.



Рисунок 3 – Оценка глубины проникания ингибитора.

Противогололедный эффект от действия нового материала оценивали на поверхности льда на дороге толщиной 3–5 мм, на который наносили антигололедный материал с расходом 50 г на м² с выдержкой во времени от 10 до 30 минут. Коэффициент сцепления колеса с обработанной поверхностью дороги измеряли при помощи прибора ПСП-1М (патент РБ № 2613) (рис.4).



Рисунок 4 – Измерение коэффициента сцепления.

Полученные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициент сцепления колес автомобилей с дорожным покрытием

Порядок измерения коэффициента сцепления	Длина хода минитележки, см		Норма не более, см
	Через 10 мин.	Через 30 мин.	
до обработки	263,8	261,7	110
после обработки увлажненной песчано-солевой смесью	97,3	104,6	110
после обработки материалом с ингибитором коррозии	92,4	106,9	110

Из представленных результатов испытаний следует, что добавление ингибитора не снижает эффективности действия песчано-соляной смеси.

Была также проверена способность противогололедного материала удерживаться на дороге под колесами проходящего транспорта. Для определения количества оставшегося на покрытии противогололедного реагента применяли прибор SOBO-20, который показал, что после проходов 400 автомобилей концентрация соли при использовании традиционной песчано-соляной смеси уменьшается на 86 %, а при использовании ингибированного материала на 64 %. Возможно это связано с тем, что часть частиц песка покрытого раствором антигололедного материала фиксируется

на поверхности дорожного полотна образующимся осадком фосфата кальция.

ВЫВОДЫ

Предложенный ингибированный противогололедный материал представляет практический интерес для организаций, выполняющих зимнее содержание бетонных дорог. Его применение не вызывает дополнительных технологических сложностей. Эффективность его действия заключается в существенном снижении коррозионной активности антигололедных солей на бетон и уменьшении их расхода с учетом, оставшихся на дороге реагентов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Микульский, В. Г.** Строительные материалы. – М. : АСТ, 2007. – С. 205–208.

2 **Пшембаев, М. К.** Эффективная защита бетонных дорог от солевой коррозии и действия знакопеременных температур/Вестник КаздорНИИ, 2015. – № 1-2(45-46). – С. 1–6.

3 **Шилакадзе, Т. А., Бусел, А. В., Каримов, Б. Б.** Дорожное строительство: Современные решения проблем. – М. : МПК, 2016. – С. 117–124.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

М. К. Пшембаев

Бетонды жолдарға арналған ингибирлік тайғаққа қарсы материал
Белорус ұлттық техникалық университеті,
Минск қ., 220013, Белорус Республикасы.
Материал 17.08.18 баспаға түсті.

M. K. Pshembayev

Inhibited de-icing material for concrete roads

Belarusian National Technical University,
Minsk, 220013, Republic of Belarus,
Material received on 17.08.18.

Бетонның коррозиясының ингибиторлары цемент тасының құрылымынан кальций гидроксидін шаймалау және шаймалаумен байланысты тоттануды тоқтататын немесе әлсірететін материалдар болуы мүмкін. Мұндай материалдар болуы мүмкін: магний гексафлюоросиликаты, натрий және калий фосфаты және

Ca (OH)₂-ні ерітілген күйге айналдыратын басқа заттар. Әдетте бұл заттар бетонды төсеу процесінде немесе оны пайдалану кезінде сіңдіру арқылы қолданылады.

Осы техникалық шешімнің тиімділігін бағалау үшін қалыпты жағдайда 28 күн бойы 7x7x7 см өлшейтін жол бетондарының үлгілері – эксперименттер жүргізілді. Қоспа бетоннан тек екі күн бойы қалыпты жағдайда сақталып, -40 °C-қа дейін мұздату үшін сыналды және 5 % натрий хлоридінің ерітіндісінде ериді. Бұл әдіс мұздануға қарсы материалдарды пайдалану жағдайында бетон бетінің ауыспалы температураға қарсылығын ең көп дәрежеде көрсетеді. Аязға төзімділік 400 еріту-еріту циклінен кейін үлгілердің салмағын жоғалту арқылы (әр сынақ сериясында 6 дана) бағаланды. Бұл мысал үшін аязға төзімділік индексі (орташа 6 сынақ) 1,6 г болды.

Inhibitors of concrete corrosion can be materials that stop or weaken its corrosion associated with leaching and leaching of calcium hydroxide from the structure of cement stone. Such materials may be: magnesium hexafluoro-silicate, sodium and potassium phosphates, and other substances that convert Ca (OH)₂ to a hardly insoluble state. Usually these substances are used by impregnating the concrete during the paving process or during its operation.

To assess the effectiveness of this technical solution, an experiment was conducted on samples-cubes of road concrete measuring 7x7x7 cm, aged for 28 days under normal conditions. The mixture was applied to all faces of the cubic samples from road concrete, kept under normal conditions for 2 days and tested for freezing to -40 °C and thawing in 5% sodium chloride solution. This method reveals to the greatest extent the resistance of the concrete surface to alternating temperatures in conditions of the use of anti-icing materials. Frost resistance was evaluated by weight loss of samples (6 pieces in each test series) after 400 freeze-thaw cycles. The frost resistance index (average of 6 tests) for this example was 1.6 g.

Д. К. Саканов¹, Д. А. Аспанбетов²

¹к.т.н., докторант, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, 220013, Республика Беларусь

²PhD, научный сотрудник, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», г. Алматы, 050000, Республика Казахстан

**ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ В ПРОЦЕССЕ
УКЛАДКИ**

При уплотнении бетонной смеси глубинным вибратором деформации структуры цементного геля уменьшаются в соответствии с затуханием колебаний. Поэтому режим вибрирования должен определяться продолжительностью уплотнения бетонной смеси в зоне малых деформаций сдвига.

Контроль вибрации и уплотнения бетона является неотъемлемой частью обеспечения качества покрытия. Дефекты покрытия связанные с вибрацией могут проявиться после нескольких лет эксплуатации.

В приведенном исследовании изучалось определение содержания и распределения воздуха, а также оценка методов уплотнения от вибрации при устройстве дорожного покрытия разными моделями бетоноукладочных комплексов. Для изучения воздушных пустот использовался метод анализа цифровых изображений кернов, полученных с помощью электронного микроскопа.

Ключевые слова: вибрирование, уплотнение, вибратор, цифровое изображение, повреждение бетона.

ВВЕДЕНИЕ

Вибрирование – один из наиболее широко применяемых способов уплотнения бетонной смеси на стадии, когда цементному гелю еще присущи упругоэластические свойства. В отличие от цементных частиц зерна песка, щебня и гравия не образуют связанных систем с водой. Поэтому они не оказывают непосредственного влияния на проявление тиксотропии цементного геля при механических (динамических) воздействиях на бетонную смесь [1]. Процесс уплотнения бетонной смеси как цельной системы связан не только с указанными явлениями. Вибрирование следует рассматривать и

как способ формирования бетонной смеси, когда она в разжиженном состоянии заполняет заданный объем в пространстве, и как средство воздействия на физико-химические превращения, способствующие интенсификации коагуляционного структурообразования цементного геля и гомогенизации бетонной смеси. При вибрационном воздействии достигается относительно более плотная упаковка зерен заполнителя и частиц цемента в бетонной смеси, обусловленная сжимаемостью (деформируемостью) практически однородной среды при генерировании колебаний и гравитационными силами. Под влиянием колебаний сольватированные частицы цемента сближаются и, как следствие, активизируется взаимодействие между ними, обуславливающее дополнительную (по отношению к первоначальной) контракцию цементного геля. Этот процесс сопровождается дезагрегацией цементных флюкул и перераспределением жидкой фазы – частичным переходом относительно свободной, жидкости в связанное состояние с поверхностями вновь возникающих дезагрегированных частиц твердой фазы. В бетонной смеси зерна заполнителя занимают большую часть ее объема, а содержание цементного геля составляет от 20 до 30 %. Тем не менее упругоэластичновязкая составляющая бетонной смеси решающим образом влияет на ее реологические свойства при динамических воздействиях.

При вибрировании бетонной смеси энергия колебаний расходуется на: 1) частичное или полное разрушение структурных связей в цементном геле (преодоление сопротивления сдвигу с понижением его вязкости; 2) пространственную перегруппировку и более компактную упаковку зерен заполнителей в разжиженном цементном геле; 3) уплотнение цементного геля, сопровождающееся контракцией бетонной смеси.

В общем случае продолжительность вибрирования бетонной смеси определяется временем, необходимым для достижения компактной упаковки зерен заполнителя и высокой степени уплотнения прослоек цементного геля между ними по всей толщине. В этой связи для бетонных смесей на пористых заполнителях необходимо более длительное вибрационное воздействие, чем для смесей на щебне и гравии из плотных каменных пород.

При уплотнении бетонной смеси глубинным вибратором деформации структуры цементного геля уменьшаются в соответствии с затуханием колебаний. Поэтому режим вибрирования должен определяться продолжительностью уплотнения бетонной смеси в зоне малых деформаций сдвига.

В зависимости от содержания воды в цементном геле [2] необходимая продолжительность вибрационного воздействия на бетонную смесь может изменяться в широких пределах. Показатель виброформуемости - бетонной смеси зависит в значительной мере от частоты колебаний вибратора.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Контроль вибрации и уплотнения бетона является неотъемлемой частью обеспечения качества покрытия. Дефекты покрытия связанные с вибрацией могут проявиться после нескольких лет эксплуатации.

Преыдушие исследования в основном сосредоточены на обеспечении однородной смеси перед укладкой, где выявлены большие различия в воздушной матрице в слоях покрытия. Также установлено, что расположение, угол и частота работы вибратора являются важными переменными в производстве качественной укладки покрытия.

В приведенном исследовании изучалось определение содержания и распределения воздуха, а также оценка методов уплотнения от вибрации при устройстве дорожного покрытия разными моделями бетоноукладочных комплексов (табл. 1). Для изучения воздушных пустот использовался метод анализа цифровых изображений кернов, полученных с помощью электронного микроскопа.

Таблица 1 – Основные показатели бетоноукладочных комплексов

Наименование	Показатели	
Тип и модель	Gomaco, модель GP-3000	СМІ, модель 450
Марка вибратора	Wyco Tool Company	Minnich Manufacturing Company
Модель вибратора	W949760, W949760, Super Spud 3000	HV-2PE, HV-2PEH, HV-4P
Количество вибраторов	20	17
Среднее расстояние между вибраторами, мм	393,70	463,55
Протяженность участка, км	10,04	11,10
Ширина покрытия, м	7,93	7,92
Толщина покрытия, мм	304,80	254,00

Для этого исследования на бетоноукладочных комплексах были установлены шесть вибраторов со следующими техническими характеристиками, показанными в таблице 2.

Таблица 2 – Основные показатели вибраторов

Модель	№ вибратора	Диаметр, мм	Сила воздействия, кг
W949760	1	57,15	907,2
W949760	2	57,15	1 134,0
Super Spud 3000	3	76,2	1 360,8
HV-2PE	1	60,32	802,87

HV-2PEH	2	60,32	975,24
HV-4P	3	76,2	1 360,8

Стандартные вибраторы были оборудованы датчиками частоты вибрации. В процессе укладки покрытия на экспериментальных участка были отобраны керны для последующих испытаний.

Наблюдение за контрольными устройствами показало, что значения частоты, влияет на смещение вибраторов во время укладки бетона. Вследствие нагрузки на гидравлическую систему бетоноукладочного комплекса отклонение частоты вибрации наблюдалось в диапазоне ± 200 колебаний в минуту, что определяет непостоянство вибрации. Финишеры не были настроены на разные сочетания переменных скорости укладки и частоты вибрации.

Поэтому наблюдение было сконцентрировано за работой финишеров, работа которых связана с обработкой покрытия бетонной плиты и возможностью выявления нежелательных пустот в покрытии с разным уровнем виброуплотнения. Далее, были отобраны керны с готовых покрытий для испытаний (рис. 1) на предмет относительного содержания затвердевшего воздуха в количестве 10 штук для последующего сканирования электронным микроскопом Hitachi S-2460N.

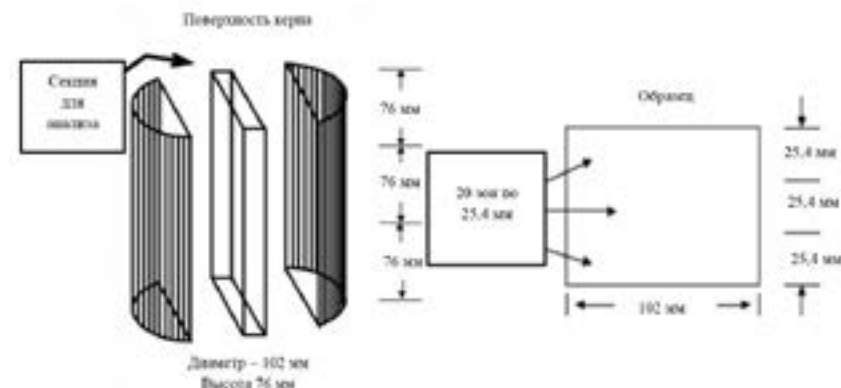


Рисунок 1 – Схема подготовки образца.

Целью лабораторных исследований было определение оптимального сочетания скорости укладки к частоте вибрации для получения однородной бетонной смеси по всей глубине и ширине покрытия. Все цифровые изображения были собраны с помощью детектора обратного рассеяния электронов при 40-ом увеличении, который включал в себя сбор изображений

в определенных местах образца. Такое увеличение позволило обнаруживать особенности структуры образца (4000-7000 воздушных пустот) в диапазоне размеров от 10 до 15 микрон, на основе чего было определено количество воздушных пустот, их периметры и формы (рис. 2).

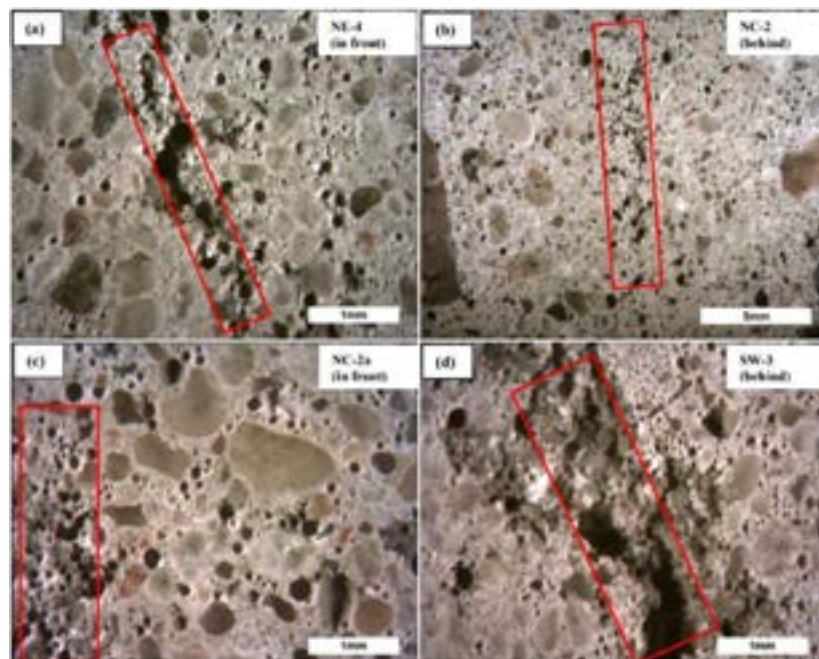


Рисунок 2 – Цифровые изображения образцов кернов при 40-ом увеличении.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ изображений цифровых изображений привел к измерению процентного содержания воздуха, присутствующего в растворе бетона. Это значение было преобразовано в объемное содержание воздуха в бетоне путем корректировки теоретического содержания крупного заполнителя (то есть, номинального расчетного значения смеси) бетона. Измеренные значения форм воздушных пустот были затем использованы для расчета эквивалентного круглого диаметра каждой воздушной полости. В результате чего были составлены кривые содержания воздуха и размера пустот в зависимости от скорости укладки и моделей вибраторов в разрезе участков I80 и US218 (см. рисунки 3 и 4).

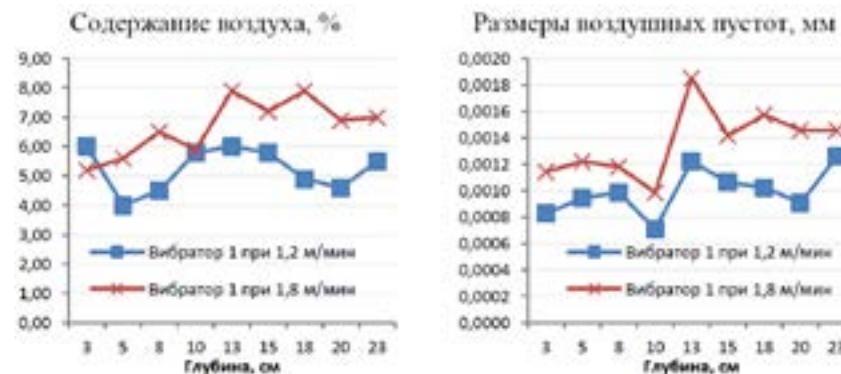
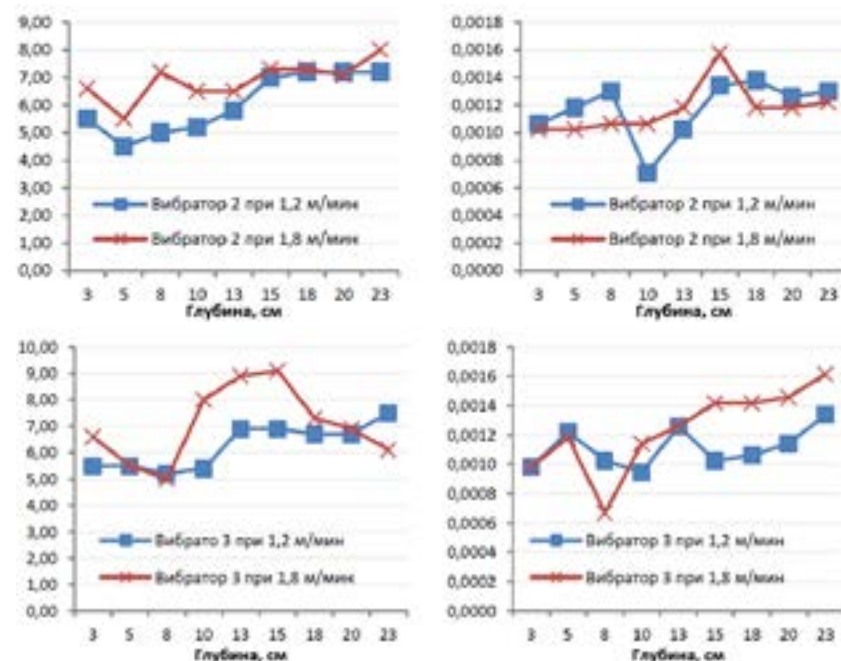


Рисунок 3 – Кривые содержания воздуха и размера воздушных пустот на участке I80.



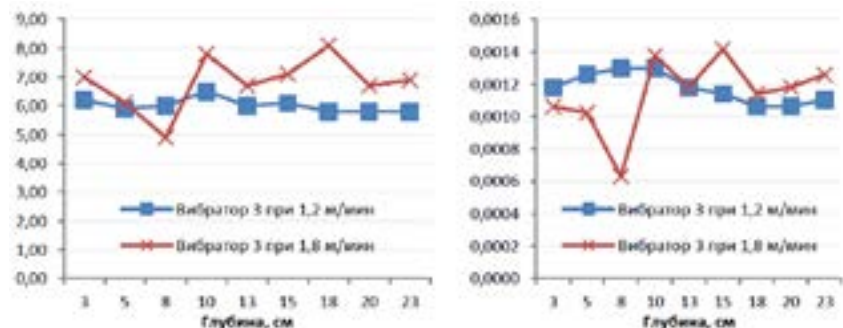


Рисунок 4 – Кривые содержания воздуха и размера воздушных пустот на участке US218.

ВЫВОДЫ

Результаты аналитической работы (рисунки 3 и 4) по оценке матриц вовлеченного воздуха, показали, что наблюдается потеря содержания воздуха в 2-4% в верхней части образцов, увеличение размеров пустот в нижней части с увеличением скорости укладки смеси. Наряду с этим, доказано, что заданное содержание воздуха и равномерное распределение пустот воздуха может быть достигнуто при работе на скоростях бетоноукладчика от 1,2 до 1,8 метра в при вибрационной частоте от 5000 до 8000 вибраций в минуту [3]. Наиболее равномерное распределение воздушных пустот по всей глубине бетона, внутри и вне дорожек вибратора, достигается при комбинации частот вибратора примерно 5000 вибраций в минуту и скорости движения бетоноукладчика со скользящей опалубкой 1,22 метра в минуту. Более высокие частоты или скорости в отдельности или их комбинации могут привести к снижению содержания воздуха в верхней части бетонного покрытия. Это, в свою очередь, обеспечивает большую возможность для воды и соли проникать в покрытие, тем самым снижая долговечность и срок службы дорожного покрытия.

Из практических наблюдений, изменчивость состава смеси зависит от материалов, уровня влажности и пропорциях состава материала, а иногда и от проблем дозирования материалов, что заставляет операторов бетоноукладочных комплексов увеличивать скорость работы вибратора при укладке покрытия. Слишком высокая частота вибрации разделяет материалы в бетоне с более низкими значениями пластической вязкости (рисунок 5).



Рисунок 5 – Проблемы при укладке бетонной смеси [4].

Неоднородная структура вызывает неравномерную отделку поверхности покрытия за счет повышения скоростей вибратора и скорости укладки покрытий (рис. 6).

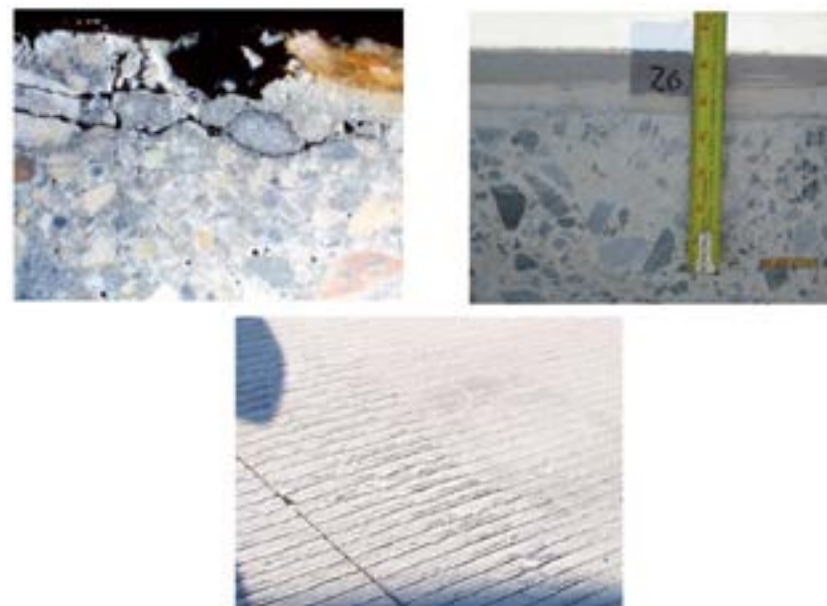


Рисунок 6 – Поверхностные повреждения бетона

С увеличением содержания воздуха в бетоне, прочность уменьшается на 5 % на каждый процент вовлеченного в бетон воздуха [5]. Данный показатель может варьироваться от 2 до 6% в зависимости от фактического состава смеси. Следует отметить, что эти корреляции потери прочности определяются на основе правильно уплотненных бетонных смесей. Для бетона, который не уплотнен должным образом, можно ожидать более высокие потери прочности.

Типичные зависимости между прочностью на сжатие с разным содержанием воздуха показаны на рисунке 7(a). Зависимость между прочностью на сжатие и содержанием воздуха для бетонов с различным содержанием цемента показана на рисунке 7 (б) [6].

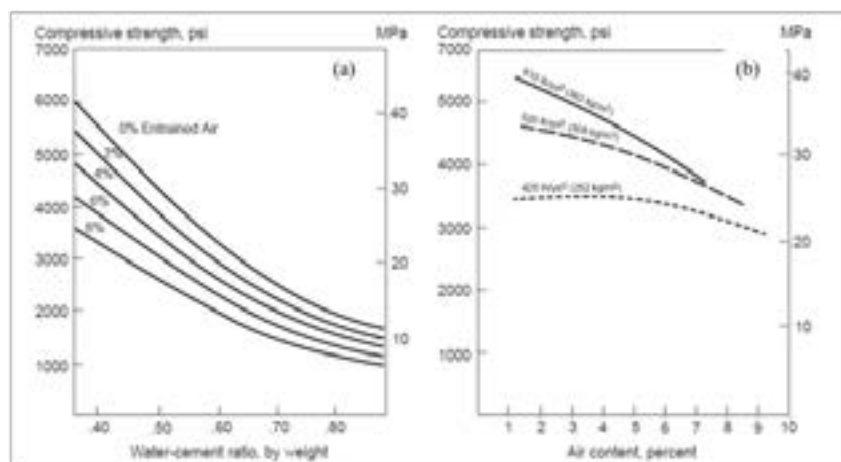


Рисунок 7 – Зависимость прочностью на сжатие и содержанием воздуха в бетоне

Таким образом, тип, размер, форма, расположение и количество пустот являются факторами, управляющими многими важными свойствами бетона, такими как прочность на сжатие, устойчивость к разрушению при замерзании и оттаивании. При этом, чрезмерное содержание воздушных пустот снизит прочность бетона на сжатие примерно на 5 % для каждого избыточного процента пустот [7].

Принимая во внимание, важность рассматриваемых показателей качества бетона, параметры воздушно-пустотной системы, которого определяются следующими показателями: содержание пустот (% по объему); частота пустот (количество пустот на единицу шага); средняя длина хорды (суммы хорд воздушных пустот) и удельная поверхность (площадь поверхности средней

пустоты к объему средней пустоты[8], показывает необходимость усиления данного направления по совершенствованию национальной нормативно-технической базы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Ахвердов, И. Н.** Технология железобетонных изделий и конструкций специального назначения / И. Н. Ахвердов. — Минск : Наука и техника, 1993. — 238 с.
- 2 **Ахвердов, И. Н.** Основы физики бетона / И. Н. Ахвердов. — М. : Стройиздат, 1981. — 464 с.
- 3 **Cable, J. K.** Evaluation of Vibrator Performance vs. Concrete Consolidation & Air Void System. PCA R&D Serial No. 2398. PCA Project Index No. 97-01. — Portland Cement Association. 2017. — 68 p.
- 4 Gomako. Pavement Vibration Issues / ACI 309 Consolidation. 2017. — 49 p.
- 5 **Bloem, D. L.** Air Entrainment in Concrete, National Sand and Gravel Association and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, MD, 1950.
- 6 **Walker, S. and Bloem, D. L.** Design and Control of Air Entrained Concrete, Publication No. 60, National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, MD, 1955.
- 7 **Lewis, D. W.** Lightweight concrete and aggregates. In Significance of tests and properties of concrete and concrete making materials (ASTM Special Technical Publication No. 169B, pp. 503-524). Philadelphia : ASTM, 1978.
- 8 ASTM. C 457: Standard test method for microscopical determination of parameters of the air-void system in hardened concrete. In Annual book of ASTM standards: Volume 04.02, Concrete and aggregates. Philadelphia.

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

Д. К. Саканов¹, Д. А. Аспанбетов²

Цемент-бетон төсеу процесінде бетонның беріктік сипаттамалары

¹Белорус ұлттық техникалық университет,
Минск қ., 220013, Белорус Республикасы.

²«Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ,
Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы.

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

D. K. Sakanov¹, D. A. Aspanbetov²**Strength characteristics of cement concrete paving in the process of laying**¹Belarusian National Technical University,
Minsk, 220013, Republic of Belarus,²Kazakhstan Highway Research Institute.
FImaty, 050000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 17.08.18.

Бетон қоспасын терең вибратормен тығыздау кезінде цемент гель құрылымының деформациялары дірілдің сөндірілуіне байланысты азаяды. Демек, діріл режимі шағын кесу деформациялар аймағында бетон қоспасының тығыздауының ұзақтығы арқылы анықталуы керек.

Бетонның дірілдеуін және тығыздалуын бақылау жабынды сапасын қамтамасыз етудің ажырамас бөлігі болып табылады. Дірілдімен байланысты кемшіліктер бірнеше жыл жұмыс істегеннен кейін пайда болуы мүмкін.

Жоғарыда келтірілген зерттеуде ауа концентрациясы мен бөлінуін анықтау, сондай-ақ бетон төсеу кешендерінің әртүрлі үлгілерін төсеу кезінде дірілден қысу әдістерін бағалау қарастырылды. Ауа ағындарын зерттеу үшін электрондық микроскоп арқылы алынған ядролардың сандық суреттерін талдау әдісін қолдандық.

When compacting a concrete mix with a deep vibrator, the deformations of the cement gel structure are reduced in accordance with the damping of vibrations. Therefore, the mode of vibration should be determined by the duration of compaction of the concrete mixture in the zone of small shear deformations.

Control of vibration and compaction of concrete is an integral part of ensuring the quality of the coating. Defects associated with vibration may occur after several years of operation.

In the above study, the determination of the content and distribution of air, as well as the evaluation of compaction methods from vibration during the paving of various models of concrete-laying complexes were studied. To study the air voids, we used the method of analyzing digital images of cores obtained using an electron microscope.

ГРНТИ 67.09.33

Д. К. Саканов¹, К. Т. Саканов²¹к.т.н., докторант, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, 220013, Республика Беларусь²к.т.н., заведующий кафедрой, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан**ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ЦЕМЕНТОБЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН**

Главной технической проблемой автомобильных дорог является прогрессирующая потеря несущей способности существующих дорожных одежд. Поскольку автомобильные дороги с цементобетонными покрытиями имеют лучшие прочностные характеристики и больший срок службы, чем дороги с асфальтобетонными покрытиями. В связи с этим уполномоченным органом по автомобильным дорогам Республики Казахстан было принято решение проектировать автомобильные дороги под нагрузку на ось 13 тонн, что отвечает современным требованиям. И начиная с 2006 года в республике началось строительство автомобильных дорог с цементобетонными покрытиями.

Опыт строительства автомобильных дорог с цементобетонными покрытиями, говорит о перспективности развития данного направления. Где безусловным преимуществом цементобетона являются стабильные транспортно-эксплуатационные показатели и высокая долговечность.

Ключевые слова: дорожная сеть, цементобетонное покрытие, автобан, дорожное покрытие.

ВВЕДЕНИЕ

Общая протяженность автомобильных дорог Республики Казахстан составляет 128,3 тыс. км, из которых более 97,4 тыс. км – автодороги общего пользования [1].

Республиканская дорожная сеть Казахстана составляет 24,4 тыс. км, из которых 12,1 тыс. км с асфальтобетонным покрытием, 1452 км с цементобетонным и 10,8 тыс. км с облегченными видами покрытия.

Таблица 1 – Сеть автомобильных дорог республиканского значения (по состоянию на 01.01.2018 года) [2].

Область	Протяженность, км	Тип покрытия					Грунтовые
		а/б	ц/б	черн. - щеб.	черн. - грав.	грав., грав. - щеб.	
Акмолинский	2 286	1 376	267	354	193	59	37
Актюбинский	1 894	1 166		382	244	102	
Алматинский	2 822	1 110	409		1 249	27	27
Атырауский	990	546		380	29	18	17
В-Казахстанский	3 414	710			2 362	335	7
Жамбылский	1 237	503	350		384		
З-Казахстанский	1 393	905	21	203		264	
Карагандинский	2 785	1 006	66	1 373			341
Костанайский	1 410	683		541	94	92	
Кызылординский	1 107	815			215	59	18
Мангистауский	1 049	832		85	9	94	29
Павлодарский	1 663	643		805	178	38	
С-Казахстанский	1 468	1 468					
Ю-Казахстанский	866	384	340		143		
ИТОГО:	24 383	12 145	1 452	4 122	5 100	1 088	476

Поскольку автомобильные дороги с цементобетонными покрытиями имеют лучшие прочностные характеристики и больший срок службы, чем дороги с асфальтобетонными покрытиями. В связи с этим уполномоченным органом по автомобильным дорогам Республики Казахстан было принято решение проектировать автомобильные дороги под нагрузку на ось 13 тонн, что отвечает современным требованиям.

Начиная с 2006 года в Республике Казахстан началось строительство автомобильных дорог с цементобетонными покрытиями.

В первой автомобильной дорогой с цементобетонным покрытием была «Астана–Щучинск» с параметрами технической категории 1-А с 6-ти полосным движением. Строительство, которой было обусловлено переносом столицы в город Астану и развитием туристического кластера Акмолинской области, в частности Щучинско-Боровской курортной зоны [3].

В связи с этим в 2006 году было начато строительство скоростной автомагистрали под расчетную скорость 150 км в час, шириной проезжей

части 22,5м, протяженностью 215 км и км 222-230,4 с 4-х полосным движением. Общая стоимость проекта составило 115 млрд. тенге.

На участках проекта «Астана-Шортанды» и «Макинск-Щучинск» протяженностью 96 км было предусмотрено устройство цементобетонного покрытия по немецкой технологии. Конструкция дорожной одежды на данном участке запроектирована исходя из наличия местных дорожно-строительных материалов, климатических условий и рассчитана поднагрузку на одиночную ось 13 тонн со сроком службы дорожной одежды 20 лет. В реализации проекта принимали участие 2 дорожно-строительных компаний (АО «К-Дорстрой» и ТОО «Казахдорстрой»).

В 2008 году данные работы были завершены и открыто движение по всем 6-ти полосам на 215 км.

Накопленный опыт на строительстве первого автобана заложил основу к реализации проекта международной транзитной автомагистрали «Западная Европа – Западный Китай», протяженностью которой по территории Казахстана составляет 2 757 км, из которых 994 км с цементобетонным покрытием [4].



Рисунок 1 – Проект «Западная Европа – Западный Китай»



Рисунок 2 – Строительство проекта «Западная Европа – Западный Китай» в Туркестанской и Жамбылской областях.

В целом, в Казахстане на сегодняшний день сеть дорог республиканского значения составляет 24,4 тыс. км, из которых 94 % нежесткого типа покрытия и только 6 % с цементобетонным.

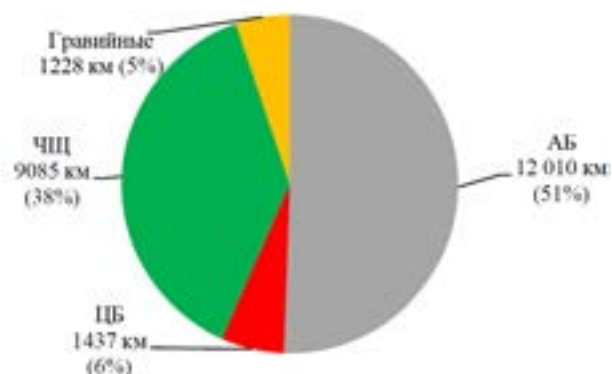


Рисунок 3 – Распределение дорог по типам покрытия.

Исходя из тенденции развития республиканской дорожной сети по типам покрытий, дороги с цементобетонным покрытием впервые начали вводиться в эксплуатацию начиная с 2011 года с учетом гарантийного периода 3-5 лет. За последние 8 лет, данная протяженность увеличилась с 97 до 1437 км, т.е. более чем в 15 раз и продолжает расширяться.

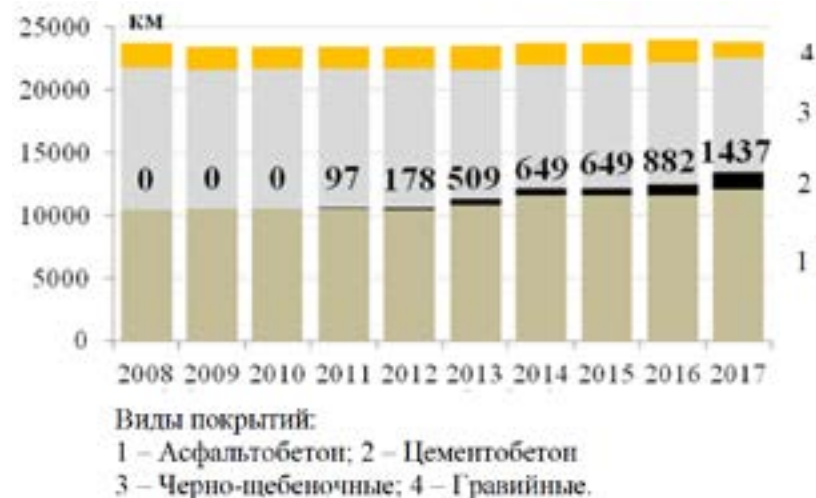


Рисунок 4 – Динамика развития республиканской дорожной сети по типам покрытия с 2008 по 2017 годы.

Дальнейшее развитие строительства автомобильных дорог с цементобетонными покрытиями получило в рамках проектов «Центр - Юг» и «Центр – Восток».

Перечень дорог общего пользования с цементобетонными покрытиями по состоянию на 01.01.2018 года приведен в таблице ниже.

Таблица 2 – Перечень автомобильных дорог с цементобетонным покрытием Республики Казахстан

№ а/д	Наименование автомобильной дороги	Протяженность, км	в том числе:
			Цементобетонное покрытие
Акмолинская область			
М-36	гр. РФ (на Екатеринбург)-Алматы	469	71
А-1	Астана-Петропавловск	324	97
Р-4	Астана-Ерейментау-Шидерты	189	99
	Всего по области:	2 285,5	267,0
Алматинская область			
	Алматы-Шелек-Хоргос	304	304
А-3	Алматы-Усть-Каменогорск	586	105
	Всего по области:	2 821,9	409,0

Жамбылская область			
А-2	Алматы-Ташкент-Термез	674,5	
	км 162-260, Обход перевала Кордай	80,0	69,5
	км 483-536, новый Обход г.Тараз	65,1	7,7
	км 383-404, Обход с.Кулан	20,0	20
	км 261,5- 389,4; 404-483; 536-593	267,1	253,1
Всего по области:		1 237,2	350,3
Западно-Казахстанская область			
А-31	Чапаево-Жалпактал-Казталовка-гр. РФ	213	18
Р-44	Казталовка-Жанибек-гр.РФ	165	3
Всего по области:		1 393,0	21
Карагандинская область			
М-36	Гр. РФ (на Екатеринбург)-Алматы	637,6	65,6
Всего по области:		2 784,6	65,6
Туркестанская область			
М-32	Граница РФ (на Самару)-Шымкент	201,0	141,9
М-39	Ташкент-Термез	24,1	24,1
А-2	Алматы-Кордай-Мерке-Ташкент-Термез	182,0	137,0
Р-32	Северный обход города Шымкент	36,5	36,5
Всего по области:		866,2	339,5
Всего по республике:		24 382,9	1 452,4

ВЫВОДЫ

Возрастающие транспортные нагрузки на дорожные покрытия и повышение интенсивности движения способствует расширению строительства бетонных дорог, которые наряду со своими положительными свойствами требуют новых технологических решений для обеспечения устойчивости покрытий к действию транспортных и погодно-климатических факторов.

Опыт строительства автомобильных дорог с цементобетонными покрытиями, говорит о перспективности развития данного направления. Где безусловным преимуществом цементобетона являются стабильные транспортно-эксплуатационные показатели и высокая долговечность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Об утверждении Государственной программы инфраструктурного развития «Нұрлы жол» на 2015-2019 годы: Указ Президента РК от 6 апреля 2015 года, № 1030 // Казахстанская правда от 09.04.2015 г., № 64 (27940).

2 Титул автомобильных дорог республиканского значения по состоянию

на 01.01.2018 года// Комитет автомобильных дорог Министерства индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан. Ведомственная статистика. Астана. 2018.

3 **Кусаинов, А. К.** Первый автобан. – Астана, 2017. – 243 с.

4 Об утверждении Стратегии развития акционерного общества «Национальная компания «ҚазАвтоЖол» на 2013 - 2022 годы: Постановление Правительства Республики Казахстан от 26 декабря 2013 года, № 1409 // Казахстанская правда от 18.02.2014 г., № 33 (27654).

Материал поступил в редакцию 17.08.18.

Д. К. Саканов¹, К. Т. Саканов²

Қазақстан Республикасында цемент-бетон жамылғысы бар жолдарды салу тәжірибесі

¹Белорус ұлттық техникалық университеті,
Минск қ., 220013, Белорус Республикасы.

²С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 17.08.18 баспаға түсті.

D. K. Sakanov¹, K. T. Sakanov²

Experience in the construction of roads with cement concrete pavement in the Republic of Kazakhstan

¹Belarusian National Technical University,
Minsk, 220013, Republic of Belarus,

²S. Toraihyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 17.08.18.

Автомагистральдардағы негізгі техникалық проблема - қолданыстағы тротуарлардың мойынтірек өткізу қабілетін жосалту. Цемент бетон жамылғысы бар жолдар асфальтбетон жамылғысы бар жолдарға қарағанда, беріктік сипаттамалары мен ұзағырақ қызмет мерзіміне ие болғандықтан. Осыған байланысты Қазақстан Республикасының автомобиль жолдары жөніндегі уәкілетті органы заманауи талаптарға сәйкес келетін 13 тонна жүктің салмағы үшін жолдарды жобалау туралы шешім қабылдады. 2006 жылдан бастап республикада цемент бетон жамылғысы бар жолдарды салу басталды.

Жолдарды цемент бетон жабындарымен салу тәжірибесі осы

бағытта даму перспективалары туралы айтады. Цемент бетонның шексіз артықшылығы тұрақты көліктік және операциялық өнімділік және жоғары беріктігі болып табылады.

The main technical problem of highways is the progressive loss of the bearing capacity of existing pavements. Since the roads with cement concrete pavements have better strength characteristics and a longer service life than roads with asphalt concrete pavements. In this regard, the authorized body for the roads of the Republic of Kazakhstan made a decision to design roads for axle load of 13 tons, which meets modern requirements. And since 2006, the construction of roads with cement concrete pavements began in the republic.

The experience of the construction of roads with cement concrete pavements, speaks about the prospects of development of this direction. Where the undoubted advantage of cement concrete are stable transport and operational performance and high durability.

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ПГУ ИМЕНИ С. ТОРАЙГЫРОВА
(«ВЕСТНИК ПГУ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»,
«КРАЕВЕДЕНИЕ»)**

Редакционная коллегия просит авторов руководствоваться следующими правилами при подготовке статей для опубликования в журнале.

Научные статьи, представляемые в редакцию журнала должны быть оформлены согласно базовым издательским стандартам по оформлению статей в соответствии с ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», пристатейных библиографических списков в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям в

1 экземпляре, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с полями 30 мм со всех сторон листа, электронный носитель со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для WINDOWS».

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать **12 страниц печатного текста**. *Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).*

Статья должна содержать:

1 **ГРНТИ** (Государственный рубрикатор научной технической информации);

2 **Инициалы и фамилия** (-и) автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (*прописными буквами, жирным шрифтом, абзац 1 см по левому краю, см. образец*);

3 **Ученую степень, ученое звание;**

4 **Аффилиация** (факультет или иное структурное подразделение, организация (место работы (учебы)), город, почтовый индекс, страна) – на казахском, русском и английском языках;

5 **E-mail;**

6 **Название статьи** должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность (*не более 12 слов, заглавными прописными буквами, жирным шрифтом, абзац 1 см по левому краю, на трех языках: русский, казахский, английский, см. образец*);

7 **Аннотация** – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском языках (*рекомендуемый объем аннотации – не менее 100 слов, прописными буквами, нежирным шрифтом 12 кегль, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец*);

8 **Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (*оформляются на языке публикуемого материала: кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 3 см.*). Рекомендуемое количество ключевых слов – 5-8, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3.

Задаются в порядке их значимости, т.е. самое важное ключевое слово статьи должно быть первым в списке (см. образец);

9 Основной текст статьи излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

– слово ВВЕДЕНИЕ / КІРІСПЕ / INTRODUCTION (нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре см. образец).

Необходимо отразить результаты предшествующих работ ученых, что им удалось, что требует дальнейшего изучения, какие есть альтернативы (если нет предшествующих работ – указать приоритеты или смежные исследования). Освещение библиографии позволит отгородиться от признаков заимствования и присвоения чужих трудов. Любое научное изыскание опирается на предыдущие (смежные) открытия ученых, поэтому обязательно ссылаться на источники, из которых берется информация. Также можно описать методы исследования, процедуры, оборудование, параметры измерения, и т.д. (не более 1 страницы).

– слова ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ / НЕГІЗГІ БӨЛІМ / MAIN PART (нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре).

Это отражение процесса исследования или последовательность рассуждений, в результате которых получены теоретические выводы. В научно-практической статье описываются стадии и этапы экспериментов или опытов, промежуточные результаты и обоснование общего вывода в виде математического, физического или статистического объяснения. При необходимости можно изложить данные об опытах с отрицательным результатом. Затраченные усилия исключают проведение аналогичных испытаний в дальнейшем и сокращают путь для следующих ученых. Следует описать все виды и количество отрицательных результатов, условия их получения и методы его устранения при необходимости. Проводимые исследования предоставляются в наглядной форме, не только экспериментальные, но и теоретические. Это могут быть таблицы, схемы, графические модели, графики, диаграммы и т.п. Формулы, уравнения, рисунки, фотографии и таблицы должны иметь подписи или заголовки (не более 10 страниц).

– слово ВЫВОДЫ / ҚОРЫТЫНДЫ / CONCLUSION (нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре).

Собираются тезисы основных достижений проведенного исследования. Они могут быть представлены как в письменной форме, так и в виде таблиц, графиков, чисел и статистических показателей, характеризующих основные выявленные закономерности. Выводы должны быть представлены без интерпретации авторами, что дает другим ученым возможность оценить качество самих данных и позволит дать свою интерпретацию результатов (не более 1 страницы).

10 Список использованных источников включает в себя:

– слово СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ / REFERENCES (Нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре).

Очередность источников определяется следующим образом: сначала последовательные ссылки, т.е. источники на которые вы ссылаетесь по очередности в самой статье. Затем дополнительные источники, на которых нет ссылок, т.е. источники, которые не имели место в статье, но рекомендованы вами для кругозора читателям, как смежные работы, проводимые параллельно. Рекомендуемый объем не более чем из 20 наименований (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). Статья и список литературы должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (см. образец).

11 Иллюстрации, перечень рисунков и подрисовочные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

12 Математические формулы должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

На отдельной странице (после статьи)

В бумажном и электронном вариантах приводятся полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail (для связи редакции с авторами, не публикуются);

Информация для авторов

Все статьи должны сопровождаться двумя рецензиями доктора или кандидата наук для всех авторов. Для статей, публикуемых в журнале «Вестник ПГУ» химико-биологической серии, требуется экспертное заключение.

Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.

При необходимости статья возвращается автору на доработку. За содержание статьи несет ответственность Автор.

Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

Датой поступления статьи считается дата получения редакцией ее окончательного варианта.

Статьи публикуются по мере поступления.

Периодичность издания журналов – четыре раза в год (ежеквартально).

Статью (бумажная, электронная версии, оригиналы рецензий и квитанции об оплате) следует направлять по адресу:

140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64,

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Издательство «Кереку», каб. 137.

Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).

E-mail: kereky@mail.ru

Оплата за публикацию в научном журнале составляет **5000 (Пять тысяч) тенге.**

Наши реквизиты:

РГП на ПХВ Павлодарский
государственный университет имени
С. Торайгырова
РНН 451800030073
БИН 990140004654
АО «Цеснабанк»
ИИК KZ57998FTB00 00003310
БИК TSESKZK A
Кбе 16
Код 16
КНП 861

РГП на ПХВ Павлодарский
государственный университет имени
С. Торайгырова
РНН 451800030073
БИН 990140004654
АО «Народный Банк Казахстана»
ИИК KZ15601024100003308
БИК HSBKZZKX
Кбе 16
Код 16
КНП 861

ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ:

ГРНТИ 396.314.3

А. Б. Есімова

к.п.н., доцент, Гуманитарно-педагогический факультет, Международный Казахско-Турецкий университет имени Х. А. Ясави, г. Туркестан, 161200, Республика Казахстан
e-mail: ad-ad_n@mail.ru

СЕМЕЙНО-РОДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ КАК СОЦИАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ В РЕАЛИЗАЦИИ РЕПРОДУКТИВНОГО МАТЕРИАЛА

В статье рассматриваются вопросы, связанные с кодификацией норм устной речи в орфоэпических словарях, являющихся одной из отраслей ортологической лексикографии. Проводится анализ составления первых орфоэпических словарей, говорится о том, что в данных словарях большее внимание уделяется устной орфографии в традиционном применении, а языковые нормы устной речи остались вне внимания. Также отмечается, что нормы устной речи занимают особое место в языке программ средств массовой информации, таких как радио и телевидение, и это связано с тем, что диктор читает свой текст в микрофон четко по бумажке. В статье также выявлены отличия устной и письменной речи посредством применения сравнительного метода, и это оценивается как один из оптимальных способов составления орфоэпических словарей.

Ключевые слова: репродуктивное поведение, семейно-родственные связи.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время отрасль мобильной робототехники переживает бурное развитие. Постепенно среда проектирования в области мобильной ...
Продолжение текста

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На современном этапе есть тенденции к стабильному увеличению студентов с нарушениями в состоянии здоровья. В связи с этим появляется необходимость корректировки содержания учебно-тренировочных занятий по физической культуре со студентами, посещающими специальные медицинские группы в ...
Продолжение текста публикуемого материала

ВЫВОДЫ

В этой статье мы представили основные спецификации нашего мобильного робототехнического комплекса...
Продолжение текста

Пример оформления таблиц, рисунков, схем:

Таблица 1 – Суммарный коэффициент рождаемости отдельных национальностей

	СКР, 1999 г.	СКР, 1999 г.
Всего	1,80	2,22

Диаграмма 1 - Показатели репродуктивного поведения

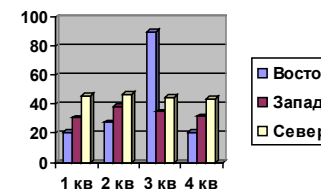


Рисунок 1 – Социальные взаимоотношения

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Эльконин, Д. Б. Психология игры [Текст] : научное издание / Д. Б. Эльконин. – 2-е изд. – М. : Владос, 1999. – 360 с. – Библиогр. : С. 345–354. – Имен. указ. : С. 355–357. – ISBN 5-691-00256-2 (в пер.).
 2 Фришман, И. Детский оздоровительный лагерь как воспитательная система [Текст] / И. Фришман // Народное образование. – 2006. – № 3. – С. 77–81.
 3 Антология педагогической мысли Казахстана [Текст] : научное издание / сост. К. Б. Жарикбаев, сост. С. К. Калиев. – Алматы : Рауан, 1995. – 512 с. : ил. – ISBN 5625027587.
 4 http://www.mari-el.ru/mmlab/home/AI/4/#part_0.

А. Б. Есімова

Отбасылық-туысты қатынастар репродуктивті мінез-құлықты жүзеге асырудағы әлеуметтік капитал ретінде

Гуманитарлық-педагогикалық факультеті,
Қ. А. Ясави атындағы Халықаралық Қазақ-Түрік университеті,
Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы.

A. B. Yesimova

The family-related networks as social capital for realization of reproductive behaviors

Faculty of Humanities and Education,
K. A. Yesevi International Kazakh-Turkish University,
Turkestan, 161200, Republic of Kazakhstan.

Мақалада ортологиялық лексикографияның бір саласы – орфоэпиялық сөздіктердегі ауызша тіл нормаларының кодификациялануымен байланысты мәселелер қарастырылады. Орфоэпиялық сөздік құрастырудың алғашқы тәжірибелері қалай болғаны талданып, дәстүрлі қолданыстағы ауызша емлесімен, әсіресе мектеп өмірінде жазба сөзге ерекше көңіл бөлініп, ал ауызша сөздің тілдік нормалары назардан тыс қалғаны айтылады. Сонымен қатар ауызша сөз нормаларының бұқаралық ақпарат құралдары – радио, телевизия хабарлары тілінде ерекше орын алуы, микрофон алдында диктордың сөзді қағаз бойынша нақпа-нақ, тақпа-тақ айтуымен байланысты екені атап көрсетіледі. Сөздікте ауызша сөзбен жазба сөздің салғастыру тәсілі арқылы олардың айырмасын айқындағаны айтылып, орфоэпиялық сөздік құрастырудың бірден-бір оңтайлы жолы деп бағаланады.

The questions, related to the norms of the oral speech codification in pronouncing dictionary are the one of the Orthologous Lexicography field, are examined in this article. The analysis of the first pronouncing dictionary is conducted, the greater attention in these dictionaries is spared to verbal orthography in traditional application, and the language norms of the oral speech remained without any attention. It is also marked that the norms of the oral speech occupy the special place in the language of media programs, such as radio and TV and it is related to that a speaker reads the text clearly from the paper. In the article the differences of the oral and writing language are also educed by means of application of comparative method and it is estimated as one of optimal methods of the pronouncing dictionary making.

Теруге 17.08.2018 ж. жіберілді. Басуға 03.09.2018 ж. қол қойылды.
Пішімі 70x100 ¹/₁₆. Кітап-журнал қағазы.
Шартты баспа табағы 18.6. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: А. Елемесқызы
Корректорлар: А. Р. Омарова, К. Б. Жетписбай
Тапсырыс № 3255

Сдано в набор 17.08.2018 г. Подписано в печать 03.09.2018 г.
Формат 70x100 ¹/₁₆. Бумага книжно-журнальная.
Усл. печ. л. 18.6. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: А. Елемесқызы
Корректоры: А. Р. Омарова, К. Б. Жетписбай
Заказ № 3255

«КЕРЕКУ» баспасынан басылып шығарылған
С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«КЕРЕКУ» баспасы
С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69
e-mail: kereku@psu.kz