

В Е С Т Н И К

**ЛУГАНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 7 (85)
2024**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Луганск 2024

ВЕСТНИК

ЛУГАНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

№ 7 (85) 2024

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ОСНОВАН В 2015 ГОДУ
ВХОДИТ В БАЗУ
РИНЦ

ОСНОВАТЕЛЬ
ФГБОУ ВО
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

VESTNIK

LUGANSK
VLADIMIR DAHL
STATE UNIVERSITY

№ 7 (85) 2024

THE SCIENTIFIC JOURNAL
WAS FOUNDED IN 2015
INCLUDED INTO THE BASE OF
RISC

FOUNDER
LSU NAMED AFTER V. DAHL

Сборник входит в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

ISSN 2522-4905

Главная редакционная коллегия :

Рябичев В.Д., докт. техн. наук, (главный редактор),
Гутько Ю.И., докт. техн. наук, (зам. главн. редактора),
Витренко В.А., докт. техн. наук (зам. главн. редактора),
Авершин А.А., канд. психол. наук,
Андрійчук Н.Д., докт. техн. наук,
Атоян А.И., докт. филос. наук,
Бельдюгин В.А., канд. ист. наук,
Болдырев К.А., докт. экон. наук,
Будиков Л.Я., докт. техн. наук,
Губачева Л.А., докт. техн. наук,
Дейнека И.Г., докт. техн. наук,
Дрозд Г.Я., докт. техн. наук,
Ерошин С.С., докт. техн. наук,
Замота Т.Н., докт. техн. наук,
Исаев В.Д., докт. филос. наук,
Клименко А.С., докт. филол. наук,
Кривоколыско С.Г., докт. хим. наук,
Крохмалева Е.Г., канд. пед. наук,
Корсунов К.А., докт. техн. наук,
Лустенко А.Ю., докт. филос. наук,
Ляпин В.П., докт. биол. наук,

Максимова Т.С., докт. экон. наук,
Максимов В.В., докт. экон. наук,
Мечетный Ю.Н., докт. мед. наук,
Мирошников В.В., докт. техн. наук,
Мортиков В.В., докт. экон. наук,
Панайотов К.К., канд. техн. наук,
Родионов А.В., докт. экон. наук,
Рябичева Л.А., докт. техн. наук,
Салита С.В., докт. экон. наук,
Санжаров С.Н., докт. ист. наук,
Свиридова Н.Д., докт. экон. наук,
Семин Д.А., докт. техн. наук,
Скляр П.П., докт. психол. наук,
Тарарычкин И.А., докт. техн. наук,
Тисунова В.Н., докт. экон. наук,
Утутов Н.Л., докт. техн. наук,
Фесенко Ю.П., докт. филол. наук,
Харьковский Р.Г., канд. ист. наук,
Шамшина И.И., докт. юридич. наук,
Шелюто В.М., докт. филос. наук,
Яковенко В.В., докт. техн. наук

Рекомендовано в печать Ученым советом Луганского государственного университета имени Владимира Даля.
(Протокол № 1 от 13.09.2023 г.)

Материалы номера печатаются на языке оригинала.

СОДЕРЖАНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ СО СПЕЦИАЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ОБЪЁМНЫХ ВОЗГОРАНИЙ Андреев А. А., Сингеев А. В., Петров А. Г. -----	5
РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ Антипов И. В., Коструб В. А., Хлапонин О. С., Рекиян П. Н. -----	14
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ КРАНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ Бабенко А. И., Мирошников А. А., Вербская Л. М. -----	21
РАСЧЕТ РАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ УТИЛИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КАСКАДНО-ТЕПЛОВОГО СЖАТИЯ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВОЗА Брянцев М. А., Данилейченко А. А., Ковтун А. С., Доценко Д. М. -----	27
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОДЪЁМА ГРУЗА МОСТОВЫМ ГРЕЙФЕРНЫМ КРАНОМ Коструб В. А., Борисов Д. П., Вербская Л. М. -----	34
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕНЗОМЕТРИИ ДЛЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДА СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН Коструб В. А., Мирошников А. А., Самойлова И. С., Рекиян П. Н. -----	41
ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК Ленич С. В. -----	51
МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ТОРМОЖЕНИЯ МОСТОВЫХ КРАНОВ ТОРМОЗАМИ С НАРАСТАЮЩИМ ТОРМОЗНЫМ МОМЕНТОМ Самойлова И. С., Мирошников А. А. -----	59
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ МЕТОДОМ УДАРНЫХ ИМПУЛЬСОВ Сметана С. А., Сидорченко А. В. -----	67
РАСЧЕТ УНИВЕРСАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗОВ Тасанг Э. Х., Быкадоров В. В., Ключев А. С., Иванова Е. И., Ливцов Ю. В. -----	74
ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЗУБЬЕВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ И ПОГРУЗЧИКОВ Шовкопляс А. В. -----	83
ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУРЫ ЗДОРОВЬЯ У СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ ВО ВНЕАУДИТОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ Игнатова Т. А. -----	90
ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 35 кВ КРАСНОЛУЧСКОГО РЕГИОНА ГУП ЛНР «РСК» ПУТЕМ РЕКОНСТРУКЦИИ Парсентьев О. С. -----	95

CONTENTS

RESEARCH OF THE TECHNOLOGY OF COMPLEX APPLICATION OF AVIATION EQUIPMENT WITH SPECIAL TRANSPORT IN THE ELIMINATION OF VOLUMETRIC FIRES Andreev A. A., Singeev A. V., Petrov A. G. -----	5
THE IMPLEMENTATION OF THE METHOD OF EXPERT ASSESSMENTS IN THE EXAMINATION OF OBJECTS OF LIFTING AND TRANSPORT EQUIPMENT Antipov I. V., Kostrub V. A., Khlaponin O. S., Rekiyan P. N. -----	14
DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR DIAGNOSIS OF AUTOMOBILE CRANES USING COMPUTER TECHNOLOGIES Babenko A. I., Miroshnikov A. A., Verbskaya L. M. -----	21
CALCULATION OF DIMENSIONAL PARAMETERS OF THE UTILIZATION SYSTEM OF CASCADE-THERMAL COMPRESSION OF THE POWER PLANT DIESEL LOCOMOTIVE Bryantsev M. A., Danileychenko A. A., Kovtun A. S., Dotsenko D. M. -----	27
STUDY OF THE DYNAMICS OF LOAD LIFTING WITH AN OVERHEAD GRAPHLE CRANE Kostrub V. A., Borisov D. P., Verbskaya L. M. -----	34
THE USE OF TENSOMETRY TO IMPROVE THE METHOD OF STATIC TESTING OF LIFTING MACHINES Kostrub V. A., Miroshnikov A. A., Samoilova I. S., Rekiyan P. N. -----	41
ON THE EFFECTIVENESS OF ROAD TERMINAL TRANSPORTATION Lenich S. V. -----	51
MULTI-PARAMETER ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF BRAKING OF OVERHEAD CRANES BY BRAKES WITH INCREASING BRAKING TORQUE Samoilova I. S., Miroshnikov A. A. -----	59
TECHNOLOGICAL IMPLEMENTATION OF VEHICLE SUSPENSION DIAGNOSIS BY SHOCK PULSE METHOD Smetana S. A., Sidorchenko A. V. -----	67
CALCULATION OF THE UNIVERSAL MAGNETIC CHARACTERISTIC FOR TRACTION ELECTRIC MOTORS OF DIESEL LOCOMOTIVES Tasang E. H., Bykadorov V. V., Klyuev A. S., Ivanova E. I., Livtsov Yu. V. -----	74
WEAR RESISTANCE OF TEETH OF WORKING BODIES OF SINGLE-BUCKET EXCAVATORS AND LOADERS Shovkoplias A. V. -----	83
FORMATION OF HEALTH CULTURE IN STUDENT YOUTH IN EXTRACURRICULAR ACTIVITIES, PSYCHOLOGICAL AND PEDAGOGICAL ASPECT Ignatova T. A. -----	90
INCREASING THE TECHNOLOGICALITY AND CAPACITY OF 35 kV DISTRIBUTION ELECTRICITY NETWORKS IN THE KRASNOLUCHSK REGION SUE LPR "RGC" BY RECONSTRUCTION Parsentev O. S. -----	95

УДК 656. 613.1.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ
АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ СО СПЕЦИАЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ
ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ОБЪЁМНЫХ ВОЗГОРАНИЙ****Андреев А. А., Сингеев А. В., Петров А. Г.****RESEARCH OF THE TECHNOLOGY OF COMPLEX APPLICATION
OF AVIATION EQUIPMENT WITH SPECIAL TRANSPORT
IN THE ELIMINATION OF VOLUMETRIC FIRES****Andreev A. A., Singeev A. V., Petrov A. G.**

Аннотация. Целью статьи является решение актуальной проблемы по ресурсосбережению и усовершенствованию технологии комплексного применения авиационной техники, оптимизации процесса пожаротушения, направленное на ликвидацию объёмных возгораний. Предложена модель взаимодействия АТ со специальным наземным транспортом для ускорения ликвидации обширных пожаров. В статье решаются основные задачи сохранения экологически чистой окружающей среды и моторесурса дорогостоящей техники, снижения ущерба от пожаров и т.д. В статье изложены результаты продолжительных исследований в формировании новых методов и методик применения транспортных технологий в комплексном использовании противопожарного самолёта Бе – 200 и других видов авиационного и наземного специального транспорта для повышения производительности при тушении объёмных возгораний.

Ключевые слова: ресурсосбережение, авиационная техника, железнодорожный транспорт, пожарная машина, специальная техника, специальный транспорт, транспортные технологии, противопожарные хабы, чрезвычайная ситуация, экология, беспилотный летательный аппарат (БПЛА), дроны, командный пункт управления, пожарный вертолёт, ГЛОНАСС, МЧС, ГСМ, ВСУ-5, ЛА.

Abstract. The purpose of this study is to solve the urgent problem of resource conservation and improvement of the technology of integrated application of aviation equipment, optimization of the fire extinguishing process, aimed at eliminating volumetric fires. A model of AT interaction with special ground transport is proposed to accelerate the elimination of extensive fires. The article solves the main tasks of preserving an environmentally friendly environment and the motor resource of expensive equipment, reducing damage from fires, etc. The article presents the results of long-term research in the formation of new methods and techniques for the application of transport technologies in the integrated use of the Be- 200 fire-fighting aircraft and other types of aviation and ground-based special transport to increase productivity in extinguishing volumetric fires.

Key words: resource conservation, aviation equipment, railway transport, fire engine, special equipment, special transport, transport technologies, fire fighting hubs, emergency situation, ecology, unmanned aerial vehicle, drones, command post, fire helicopter, GLONASS, Ministry of Emergency Situations, fuel, SWD-5, AC.

Введение. Транспортные технологии в пожаротушении являются важным процессом. Из-за объективно создавшейся ситуации в Российской Федерации возникла идея развития транспортных технологий (ТТ). В этой статье рассматривается применение противопожарной авиационной техники (АТ), которая может быть представлена пожарными спасательными вертолётами Ми-8МТВ1, Ка-32А1 и самолётами Бе-200ЧС, Ил-76 МЧС, Ан-32 П, Ан-74 и др., для пожаротушений объёмных возгораний и устранения последствий пожара.

Для исследования новой модели взаимодействия АТ и СТ были выбраны два ЛА это Ми-8МТВ1 с ВСУ-5 и Бе-200 ЧС. Выполненные нами расчёты и моделирование ситуации показали увеличение производительности доставки воды к очагу возгорания. При залповом сбросе воды из ЛА в процессе пожаротушения самолётом можно покрыть максимальный размер участка от $B \approx 70\text{ м} - 100\text{ м}$ в ширину, и от $L \approx 450 - 550\text{ м}$,

тах до 700м в длину. Для вертолётов с применением ВСУ-5 эти показатели ниже приблизительно в 2-3 раза. Высота сброса воды с Бе-200 $\geq 80\text{ м}$, с Ми-8 $\geq 50\text{ м}$.

Для внедрения новых методов и методик предложено использование противопожарных хабов (ППХ) в виде противопожарного поезда (ПП) или оставленных при конверсии 1990-х годов заброшенных аэродромов с частично сохранённой инфраструктурой в качестве пожарных вертолётных хабов (ПВХ) [1], [2].

ППХ оснащены специальной техникой (рис. 1), цистернами с водой и пенообразующей смесью для пожаротушения, пожарной машиной (АЦ-7,5-40), топливозаправщиком ГСМ на базе ТС Урал - 4320 (АТЗ-10), дронами разведки «Феникс», а для дистанционного пожаротушения БПЛА «SKYF» [8] и ещё робототехникой (радиуправляемый робот модели «LUF-60»), установкой пенного пожаротушения типа («Пурга -100») [3].

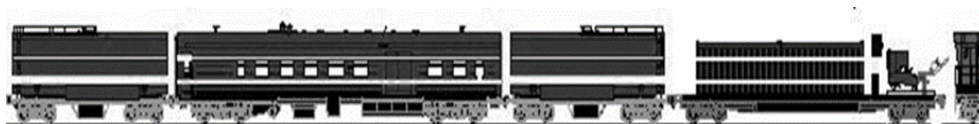


Рис. 1. Пожарный поезд «нового поколения»

Противопожарный поезд [6] (ППХ рис. 1) выступает хабом для всей группировки, он представлен с единым командным пунктом управления (КПУ) [4], на котором применяются новейшие логистические операции управления АТ и СТ, геолокация с координацией ГЛОНАСС и спецсвязь. Кроме перечисленного, на ППХ предлагается применение спецоборудования с системой искусственного интеллекта для определения характера объёмных возгораний, направления перемещения пожара и его скорости [2].

Целью исследования являлась разработка методов и методики применения новейших современных средств пожаротушения в комплексе с авиационной противопожарной, специальной наземной и железнодорожной техникой для достижения ресурсосбережения в транспортных технологиях при ликвидации

объёмных возгораний. Следующая составляющая – это снижение размеров ущерба, причинённого пожарами, и сохранение экологически чистой окружающей среды.

Описание комплексного применения АТ и СТ при ликвидации объёмных возгораний. Предметом исследования в статье выступает специальная техника на ППХ, ПВ МЧС Ми-8МТВ1 (противопожарный вертолёт), Бе-200 ЧС (противопожарный самолёт), робототехника на радиуправлении и БПЛА.

Объект исследования – транспортно-технологическое обслуживание и управление процессом ресурсосберегающей эксплуатации противопожарных средств на ППХ.

Передовые транспортные технологии – это процесс, при котором комплексное применение всех сил и средств пожаротушения, приводит к оптимизации выделяемых ресурсов и ускоряет

устранение очагов возгорания. При управлении группировкой с общего КПУ новое современное оборудование с использованием интеллектуальных систем, синтезирует входящие данные, определяет характер возгорания и помогает в принятии решения на устранения пожара. В работе на рис. 2, представлена модель пожаротушения с траекторией и профилем полёта Бе-200 с комплексным применением всех видов специального наземного, железнодорожного,

авиационного транспорта и робототехники на ППХ.

Проведение исследований в области пожаротушения объёмных возгораний представляет практическую ценность и научный интерес. Причины возникновения пожаров разные: от природных явлений и человеческого фактора до атаки беспилотных летательных аппаратов, воздействия дальнобойной артиллерии и диверсий со стороны недружественных и вражеских стран.

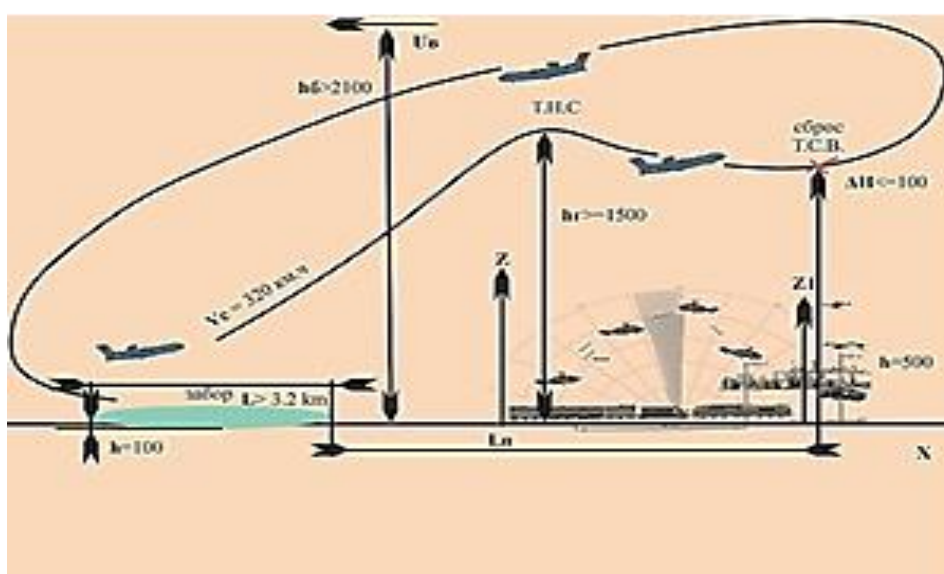


Рис. 2. Модель (профиль полёта) Бе-200 на фоне ППХ с КПУ при пожаротушении

Согласно открытым источникам, в российских регионах за четыре месяца 2024 года произошло более двадцати чрезвычайных происшествий, связанных с беспилотниками или диверсиями, в том числе атаки дронов на города РФ и промышленные объекты. Примером этому пожар на НПЗ в Краснодарском крае и др. В течение 2023 года пожарно-спасательные подразделения реагировали более чем на 350 тыс. пожаров [5]. 13 февраля 2023 г. – пожар на складе в Красноярске. Площадь возгорания – 8 000 м², огонь тушили четверо суток. С начала пожароопасного сезона в Якутии

зарегистрировано всего 879 ландшафтных пожаров на общей площади 1 428 076,5 гектара. На рис. 3 тушение масштабного пожара вертолёт Ми-8МТВ1 с ВСУ-5 после чудовищного террористического акта 22.03.2024г. в концертном зале «Крокус Сити Холл», огнем было охвачено 12,9 тыс. м², много людей погибло не от пуль преступников, а задохнулось угарным газом от поджога, устроенного террористами [10].

Применение авиатехники в соответствующих условиях диктуется временем. Количество возгораний в труднодоступных и удалённых местах растёт.



Рис. 3. Тушение пожара ПВ Ми-8МТВ1 в «Крокус Сити Холл»

Исследование проводилось не только в целях ресурсосбережения, но и для снижения размеров ущерба от пожаров и др. ЧС. Предварительный ущерб государству от лесных пожаров только в Якутии за 2023 год составил свыше 347 миллионов рублей, а если учесть подсчёт экологов, то по всей РФ – это десятки миллиардов рублей [5], [10].

Новизной в статье выступает усовершенствование технологии комплексного применения АТ, создание новых приёмов оптимизации процессов взаимодействия со специальным наземным, железнодорожным транспортом при ликвидации объёмных возгораний. Кроме вышеизложенного, налицо прямая зависимость количества средств

пожаротушения и производительность на доставку одной т. воды за единицу времени от дальности прямых поставок.

Для самолёта Бе – 200 ЧС существуют ограничения по размерам водоёма длина $\min \geq 2700\text{м}$, а при заборе воды $L = 3200\text{м}$, $B \approx 100\text{м}$, $h = 3,5\text{м}$. На рис.4 представлен сброс воды самолётом Бе – 200 ЧС. Ограничения связаны со взлётом, посадкой самолёта и особенностью забора воды для пожаротушения [3], [7]. За одну заправку топливом Бе-200ЧС может сбросить до 27 тонн воды, работая на удалении от аэродрома в радиусе действия до 100 км, что является уникальной тактико-экономической характеристикой [7].



Рис. 4 Сброс воды самолётом Бе – 200ЧС

Оптимизируя процесс пожаротушения объёмного возгорания, мы добьёмся сокращения времени реагирования, ресурсосбережения материальных средств, сохранения экологически чистой окружающей

среды и моторесурса АТ и СТ и в результате получим хороший экономический эффект.

График зависимости поставки воды от радиуса действия ЛА на (рис. 5 и табл. 1) наглядно показывает производительность (q_2) АТ на доставку 1т воды за единицу времени.

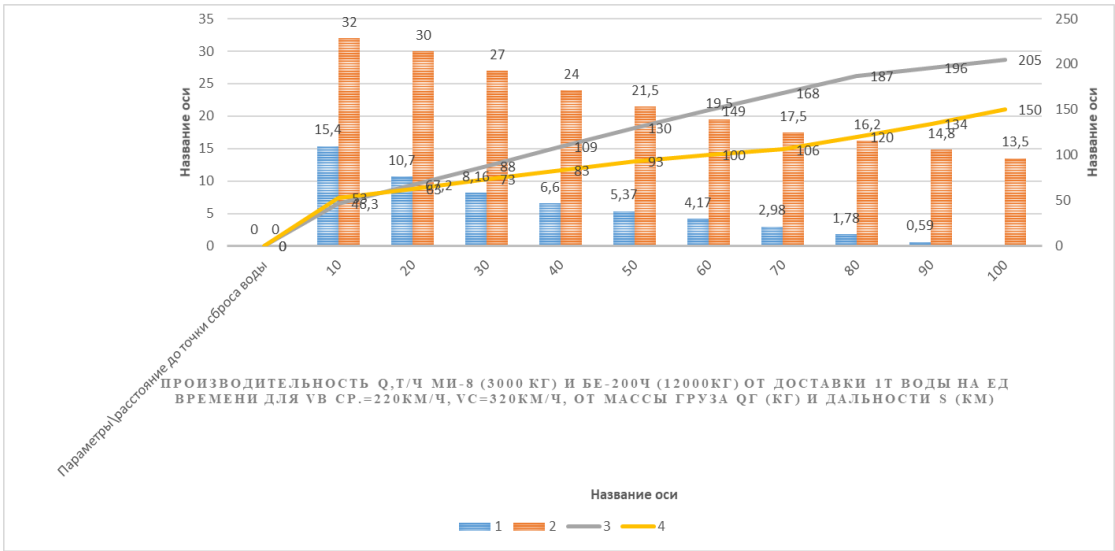


Рис. 5. График зависимости поставки воды от радиуса действия ЛА

Таблица 1

Параметры\расстояние до точки сброса воды	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Производительность доставки Q, Т/ч, при полёте С и ПВ Ми - 8МВТ1 с ВСУ - 5 на внешней подвеске; V _{ср.} =220 км/ч, q _г =3000кг, h _о =100м, h _{нс} =400м, h _п =500м, x _{нсбр} = 80м	↓ 15,4	↓ 10,7	↓ 8,16	↓ 6,6	↓ 5,37	↓ 4,17	↓ 2,98	↓ 1,78	↓ 0,59	
Производительность доставки Q, Т/ч, при полёте самолёта Бе-200; V=320 км/ч, q _г =12000, h _о =100м, h _{нс} =400м, h _п =1600м, x _{нсбр} = 80м	↓ 32	↓ 30	↓ 27	↓ 24	↓ 21,5	↓ 19,5	↓ 17,5	↓ 16,2	↓ 14,8	↓ 13,5
Расход топлива при доставке воды на Ми - 8МВТ1, Ge кг/л.т.воды, кг V _{ср.} =220км/ч, q _г =3000кг	↓ 46,3	↓ 67,2	⇒ 88	⇒ 109	⇒ 130	↑ 149	↑ 168	↑ 187	↑ 196	↑ 205
Расход топлива при доставке воды на самолёте Бе-200 П, Ge кг/л.т.воды, кг V=320км/ч, q _г =12000кг,	↓ 53	↓ 63	⇒ 73	⇒ 83	⇒ 93	⇒ 100	⇒ 106	⇒ 120	⇒ 134	↑ 150
Сумарное время t _с , ч, полного оборота Бе -200П на средней V _с =320 км/ч	↓ 0,13	↓ 0,28	↓ 0,44	↓ 0,5	↓ 0,56	↓ 0,63	↓ 0,69	↓ 0,75	↓ 0,81	

Оптимальные показатели расхода топлива (табл.1) при устранении объёмных возгораний составляет Ge = 130 – 134 кг наилучшей производительности на доставку одной т воды за единицу времени, при этом радиус действия составляет R ≈ 50 км для Ми-8 МТВ1 и, R ≈ 90 км для Бе-200 (от взлёта до точки сброса воды

на очаг возгорания). Таким образом появилась возможность объединения усилий в пожаротушении. Зона оптимального комплексного применения АТ при этом составляет от 20 до 50 км до точки сброса воды на объекты возгорания. Учитывается, что загрузка водой для пожарного вертолёт Ми-

8МТВ с ВСУ-5 составляет – 3000 кг, а для самолёта Бе-200 ЧС – 12000 кг.

Материалы и методы. Методы усовершенствования технологии комплексного применения авиационной техники при взаимодействии со специальным транспортом в чрезвычайных ситуациях напрямую влияют на сокращение времени реагирования и на определение способа тушения площадного (масштабного пожара), варианта и объёма загрузки ЛА средствами пожаротушения и горюче-смазочными материалами (ГСМ), в том числе с помощью предварительно подготовленных расчётов и таблиц при заборе воды из ППХ или водоёмов.

При подготовке к публикации данной научной статьи, которая является продолжением научных статей: «Усовершенствование транспортной технологии ликвидации ЧС в отдалённых и труднодоступных районах», «Взаимодействие авиационного и наземного транспорта при ликвидации ЧС» [1], «Влияние загруженности и дальности поставок на производительность и ресурсосбережение вертолётов МИ-8 МТВ1 в ЧС» [2], «Усовершенствование взаимодействия и увеличение эффективности железнодорожного и других видов специального транспорта в чрезвычайных ситуациях» [3], был проведен сбор информации, обзор, анализ и исследование в области ресурсосберегающей эксплуатации самолёта Бе-200 «Альтаир» – российский самолёт-амфибия («летающая лодка»), ПВ МИ-8 МТВ1 и современного специального железнодорожного, автомобильного и другого СТ России при взаимодействии авиационного и других видов специального наземного транспорта (ВАДВСНТ) в ликвидации ЧС.

Результаты и обсуждения. Анализ последних исследований и публикаций в области ЧС показали, что согласно отчёту МЧС России в течение 2023 года пожарно-спасательные подразделения реагировали на более чем 350 тыс. пожаров (за аналогичный период прошлого года (АППГ) 352323), в

которых погибло порядка 7,2 тыс. человек, более 26 тыс. – спасены. По сравнению с 2022 годом, как отмечают в МЧС, число пожаров снизилось на 1,5%, а гибель в огне – на 2%.

Отмечается и снижение в 2,5 раза числа погибших в результате чрезвычайных ситуаций. Спасти удалось около 50 тыс. человек. С начала года произошло 288 чрезвычайных ситуаций, а также более 3,8 тыс. происшествий. В целом количество ЧС ниже среднескользящих значений". По данным МЧС, наблюдается значительное снижение числа погибших на ЧС, почти в 2,5 раза. В среднем ежедневно происходило 958 пожаров, на которых погибали менее 20 человек.

На рис. 6. схема тенденции нанесения ущерба за 2022 и 2023годы за три месяца 2023 г. произошло 53 688 пожаров (за аналогичный период прошлого года (АППГ) – 57 363, -6,4%), на которых погибло 2 392 человека (АППГ – 2 607, – 8,2%), в том числе 88 несовершеннолетних (АППГ – 95, – 7,4%), получили травмы 2 112 человек (АППГ – 2 080, – 1,5%). Зарегистрированный материальный ущерб составляет 2,5 млрд рублей (АППГ – 4,6, – 46,5%).

На пожарах спасён 7 181 человек (АППГ – 7 484, – 4,0%), эвакуировано 46 003 человека (АППГ – 48 910, – 5,9%).

Количество погибших на 100 тыс. человек населения – 1,6 человека (АППГ – 1,8), количество травмированных на 100 тыс. населения – 1,5 человека (АППГ – 1,4) [5], [10].

Проведение таких исследований представляет практическую ценность и научный интерес [1], [2], [3]. Причины возникновения пожаров разные: от природных явлений и человеческого фактора до атаки беспилотных летательных аппаратов и диверсий. В российских регионах произошло не менее двадцати происшествий, связанных с беспилотниками БПЛА или диверсиями, в том числе атака дронов на Кремль, сход поездов с рельсов в Брянской области, подрыв опоры ЛЭП в Ленинградской области и пожар на НПЗ в Краснодарском крае и др.

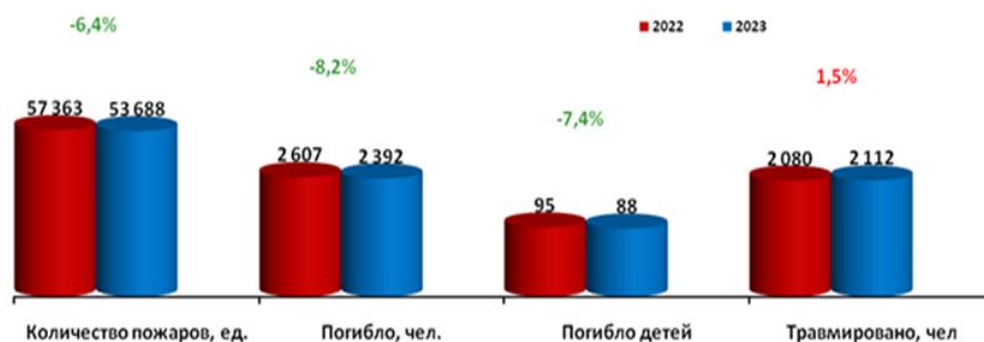


Рис. 6. Схема тенденции нанесения ущерба за 2022 и 2023 г.

Пожары на больших площадях происходили:

28 января 2023 г. на складе стройматериалов рынка «Синдика», Красногорск, Московская область. Площадь возгорания – 2 100 м².

6 марта 2023 г. – пожар на складе деревянных паллет, Комсомольск-на-Амуре. Площадь возгорания – 3 500 м².

13 марта 2023 г. – пожар на складе в Одинцово. Площадь возгорания – 4 320 м², площадь обрушения кровли – 2 000 м².

8 апреля 2023 г. – пожар на складе с семечками, Оренбург. Площадь возгорания – 2 000 м².

19 апреля 2023 г. – пожар на складе химзавода «Астат», Дзержинск, Нижегородская область. Площадь возгорания – 4 000 м².

5 мая 2023 г. – пожар на складах с резиной и горючими жидкостями в Екатеринбурге. Площадь возгорания – 2 000 м².

30 мая 2023 г. – пожар на спиртовом складе в Волоколамске. Площадь возгорания – 3 400 м² и др.

Площадь лесных ландшафтных пожаров весной-летом 2023 года достигла 3,5 млн га [10].

Правительство РФ в 2023 году выделило МЧС дополнительно 2,5 млрд руб. на устранение пожаров, которые осваиваются, и на рис. 6 наглядно видна тенденция понижения ущерба и количества погибших в 2023 году по сравнению с 2022 годом.

Выводы. На основании проведенных исследований можно сделать следующий

вывод: 1. Оптимизация технологии комплексного применения АТ на ППХ во взаимодействии со специальным наземным и железнодорожным транспортом при объёмных возгораниях снижает время реагирования, а также риски усиления или распространение пожара и значительно ускоряет подавление очагов пожара.

2. Согласно расчётам первая зона эффективного использования по критерию наименьших затрат топлива на доставку одной т воды вертолёт Ми-8МТВ1 (при устранении масштабного возгорания) находится на удалении от 5 до 50 км. Вторая зона по критерию наименьших затрат топлива на доставку одной т воды самолёт Бе-200ЧС от 20 до 100 км. Оптимальная зона тушения пожара для использования при комплексном применении АТ по критерию наименьших затрат топлива на доставку 1 т воды за единицу времени от 20 до 50 км.

3. Оптимизировав процесс пожаротушения с единым КПУ на ППХ, получаем ресурсосбережение материальных средств, сохранение экологически чистой окружающей среды, сохранение моторесурса ЛА и СТ, а также хороший экономический эффект.

Список источников

1. Андреев А.А., Сингеев А.В., Петров А.Г. Усовершенствование транспортной технологии ликвидации чрезвычайных ситуаций в отдаленных и труднодоступных районах // Вестник ЛГУ им. В. Даля. – 2021. – № 6 (48). – С. 22-28.

2. Андреев А.А., Сингеев А.В. Влияние загруженности и дальности поставок на производительность и ресурсосбережение вертолётов МИ-8 МТВ1 в ЧС // Вестник ЛГУ им. В. Даля. – 2022 №7(61). – С. 17-22.

3. Андреев А.А., Сингеев А.В., Будиков Л.Я., Захарчук А.С. Усовершенствование взаимодействия и увеличение эффективности железнодорожного и других видов специального транспорта в чрезвычайных ситуациях// Вестник ЛГУ им. В. Даля. – 2023 №7(73). – С. 21-25.

4. ГОСТ 12.2.047-86 «Пожарная техника. Термины и определения», «Классификация мобильных средств пожаротушения». – М.: Издательство стандартов, 1986. – 3 с.

5. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2022 году» / – М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2022. – 264с.

6. Пожарный поезд // Железнодорожный транспорт: Энциклопедия / Гл. ред. Н. С. Конарев. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. [Электронный ресурс] // fireman.club – Режим доступа: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/pozharnye-poezda-vidy-xarakteristiki-poz-harnyx-poezdov>.

7. Департамент летных стандартов ГСГА МТ РФ. Руководство по лётной эксплуатации А201.0000.000 РЛЭ – 1. Самолёт – амфибия Бе – 200ЧС. ОАО «ТАНТК им. Г. М. Бериева», 2003. – 394 с.

8. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика / Тимоти У. МакЛэйн. – М.: Техническая литература, Мир радиоэлектроники, 2015. – 116 с.

9. Кушельман В.Я., Лобачев Е.Н., Руппель К.К., Евдокимов Ю.И., Страдомский О.Ю. – М.: РЛЭ (Руководство по лётной эксплуатации вертолёта Ми-8Т), 2003. – 496 с.

10. МЧС. [Электронный ресурс] // www.mchs.gov.ru/ – Режим доступа: <http://www.mchs.gov.ru/>.

References

1. Andreev A.A., Singeev A.V., Petrov A.G. Improvement of transport technology for emergency response in remote and hard-to-reach areas // Bulletin of the Leningrad State University named after V. Dahl. – 2021. – № 6 (48). – Pp. 22-28.

2. Andreev A.A., Singeev A.V. The influence of workload and supply range on productivity and resource saving of MI-8 MTV1 helicopters in emergency situations // Bulletin of the V. Dahl LSU. - 2022 No.7(61). – Pp. 17-22.

3. Andreev A.A., Singeev A.V., Budikov L.Ya., Zakharchuk A.S. Improving interaction and increasing the efficiency of railway and other types of special transport in emergency situations// Bulletin of the Leningrad State University named after V. Dahl. – 2023 No. 7(73). – pp. 21-25.

4. GOST 12.2.047-86 "Fire fighting equipment. Terms and definitions", "Classification of mobile fire extinguishing equipment". - M.: Publishing House of Standards, 1986. – 3 p.

5. State report "On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2022" /

6. Fire train // Railway transport: Encyclopedia / Gl. ed. N. S. Konarev. – M.: Great Russian Encyclopedia, 1994. [Electronic resource] // fireman.club – Access mode: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/pozharnye-poezda-vidy-xarakteristiki-poz-harnyx-poezdov>.

7. Small unmanned aerial vehicles: theory and practice / Timothy W. McLane. – M.: Technical literature, World of Radio Electronics, 2015. – 116 p.

9. Kushelman V.Ya., Lobachev E.N., Ruppel K.K., Evdokimov Yu.I., Stradomsky O.Yu. – M.: RLE (Manual for flight operation of the Mi-8T helicopter), 2003. – 496 p.

10. The Ministry of Emergency Situations. [Electronic resource] // www.mchs.gov.ru/ – Access mode: <http://www.mchs.gov.ru/>.

Статья поступила в редакцию 10.06.2024

Информация об авторах

Андреев Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных технологий Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: qjdj1@mail.ru

Сингеев Андрей Васильевич, старший преподаватель кафедры «Транспортные технологии» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: tmtl_snu@mail.ru

Петров Александр Георгиевич, старший преподаватель кафедры «Транспортные технологии» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Information about the authors

Andreev Alexander Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department "Transport technologies" Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: qjdj1@mail.ru

Singeev Andrey Vasilievich, senior lecturer of the «Transport Technologies» Federal state budgetary educational institution of higher education Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: tmtl_snu@mail.ru

Petrov Alexander Georgievich, senior lecturer of the «Transport Technologies» Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

Для цитирования:

Андреев А.А., Сингеев А.В., Петров А.Г. Исследование технологии комплексного применения авиационной техники со специальным транспортом при ликвидации объёмных возгораний // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 7 (85). – С. 5-13.

For citations:

Andreev A.A., Singeev A.V., Petrov A.G. Research of the technology of complex application of aviation equipment with special transport in the elimination of volumetric fires // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 7 (85). – P. 5-13.

УДК 338

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ

Антипов И. В., Коструб В. А., Хлапонин О. С., Рекиян П. Н.

THE IMPLEMENTATION OF THE METHOD OF EXPERT ASSESSMENTS IN THE EXAMINATION OF OBJECTS OF LIFTING AND TRANSPORT EQUIPMENT

Antipov I. V., Kostrub V. A., Khlaponin O. S., Rekiyan P. N.

Аннотация. Проанализированы возможности использования метода экспертных оценок при оценке состояния объектов подъемно-транспортной техники. Рассмотрены вопросы подбора экспертов с учетом их характеристик, формирования экспертной группы и оценки адекватности принимаемых групповых решений. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что в настоящее время экспертные оценки являются сформировавшимся научным методом анализа сложных неформализуемых задач. Применение метода экспертных оценок в условиях действующего производства позволяет формализовать проблему и принять оптимальное решение.

Ключевые слова: экспертная оценка, оценка остаточного ресурса, метод Дельфи, ранжировка объектов, коэффициент ранговой корреляции Спирмена-Кендалла, экспертное решение.

Abstract. The possibilities of using the method of expert assessments in assessing the condition of objects of lifting and transport equipment are analyzed. The issues of selecting experts taking into account their characteristics, forming an expert group and assessing the adequacy of group decisions are considered. The results of the conducted research allow us to conclude that expert assessments are currently an established scientific method for analyzing complex non-formalized tasks. The use of the expert assessment method in the conditions of the current production allows you to formalize the problem and make the optimal decision.

Key words: expert assessment, residual resource assessment, Delphi method, ranking of objects, Spearman-Kendall rank correlation coefficient, expert decision.

Введение. Возрастающая сложность задач при принятии решений в различных отраслях, в том числе при исследовании и диагностике подъемно-транспортной техники, оценке ее степени износа и остаточного ресурса, требует тщательного анализа целей и направлений деятельности, методов и средств их достижения, учета влияния различных факторов на повышение качества и эффективности выполняемых работ. Это приводит к необходимости широкого

применения экспертных оценок при формировании экспертных групп и выборе методов и средств для решения поставленных задач [1].

Содержание исследования. Метод экспертных оценок позволяет обеспечить проведение экспертами диагностики и обследования любых, в том числе и технических объектов, а также анализа проблемы с количественной оценкой суждений и обработкой полученных результатов с

высокой степенью достоверности. Обобщенное мнение группы экспертов считается решением проблемы оценки. При этом эксперты выполняют информационную и аналитическую работу, заключающуюся в формировании и оценке решений. Экспертные задачи можно разделить на два типа: формирование объектов и оценка характеристик исследуемых объектов.

Формирование объектов заключается в определении вероятных событий, построении гипотез их возникновения, формулировке целей, ограничений и возможных вариантов решений, а также в определении признаков и показателей для описания свойств и взаимосвязей объектов [2]. В процессе оценки характеристик объекта эксперты производят измерения достоверности событий и гипотез, важности поставленных целей и оценивают предпочтительность вариантов решений. Фактически эксперт выполняет функцию генератора объектов и измерителя их характеристик.

Задачи, решаемые экспертами, можно разделить на два вида: с достаточным и с недостаточным информационным потенциалом. Для задач первого класса существует необходимый объем знаний и опыт их решения, что делает экспертов качественными источниками и измерителями информации. Это позволяет обобщенное мнение группы экспертов определять как среднеарифметическое их индивидуальных мнений с высокой степенью достоверности.

При решении задач второго вида эксперты не могут рассматриваться как достаточно точные измерители, так как верным может оказаться мнение только одного эксперта, хотя оно весьма отличается от мнения всех остальных, поэтому результат экспертизы не может быть получен методом осреднения.

Метод экспертных оценок может быть применен для решения проблем прогнозирования, диагностирования и выбора перспективной техники, оценки остаточного ресурса машин и механизмов и др.

Для принятия решений необходимо рассмотреть ряд таких вопросов, как подбор

экспертов, проведение опроса и обработка его результатов. Масштаб решаемой проблемы определяет необходимость привлечения к экспертизе специалистов различного профиля. Минимальное число экспертов определяется количеством различных направлений, необходимых для учета при решении проблемы.

Достоверность заключения группы экспертов зависит от уровня знаний каждого из них и от количественного состава группы. Предполагая, что каждый эксперт является достаточно точным измерителем, можно считать, что с увеличением числа экспертов достоверность решения всей группы возрастает.

В то же время с увеличением числа экспертов увеличиваются временные и финансовые затраты на формирование группы, проведение опроса и обработку его результатов, то есть повышение достоверности экспертизы связано с увеличением затрат. Таким образом, финансовые возможности ограничивают количество экспертов в группе.

Характеристика экспертной группы формируется на основе индивидуальных характеристик экспертов, таких как компетентность, конструктивность мышления, коллективизм и самокритичность. Они определяют качества экспертов, влияющие на результаты экспертизы. Зачастую возникает проблема согласования характеристик и выбора экспертов с учетом противоречивости их качеств, что обусловлено различием оценки их характеристик. Также существенно усложняет выбор эксперта увеличение количества характеристик, поэтому целесообразно сформулировать обобщенную характеристику эксперта, учитывающую наиболее важные качества и допускающую непосредственное ее измерение. В качестве такой характеристики можно принять достоверность суждений эксперта, которая определяет его как «измерительный прибор», что требует информации о прошлом опыте участия эксперта в решении подобных задач.

С целью формирования экспертной группы рекомендуется проведение опроса экспертов, реализуемого путем заслушивания и фиксации в вербальной и количественной форме суждений экспертов по решаемой проблеме. На этом этапе выполняются следующие процедуры: решение организационно-методических вопросов, постановка задачи и предъявление вопросов экспертам и информационное обеспечение работы экспертов.

Основными видами опроса являются: анкетирование, метод Дельфи, мозговой штурм и дискуссия. Выбор вида опроса определяется целями экспертизы, сущностью решаемой проблемы, полнотой и достоверностью исходной информации, располагаемым временем и затратами на проведение опроса. Все виды опроса дополняют друг друга и в определенной степени являются взаимозаменяемыми. Для генерации новых объектов (идей, событий, проблем, решений) целесообразно применять мозговой штурм, дискуссии, анкетирование и первые два тура метода Дельфи [2].

Всесторонний критический анализ имеющегося перечня объектов эффективно может быть проведен в форме дискуссии. Для количественной и качественной оценки свойств, параметров, времени и других характеристик объектов применяются анкетирование и метод Дельфи.

На основании опроса группы экспертов проводится обработка результатов, исходной информацией для которой являются числовые показатели, выражающие предпочтения экспертов, и их подробное обоснование. По итогам формируется пакет обобщенных данных и новой информации, на основании чего формируется решение проблемы.

Числовые данные и содержательные высказывания экспертов определяют необходимость применения качественных и количественных методов обработки результатов группового экспертного оценивания. Удельный вес этих методов

существенно зависит от класса решаемых экспертным оцениванием проблем.

В зависимости от целей экспертного оценивания при обработке результатов опроса возникает ряд основных задач: построение обобщенных оценок объектов и определение их удельного веса, определение согласованности мнений экспертов и определение зависимости между их суждениями, а также оценка надежности полученных результатов экспертизы.

Оценка согласованности мнений экспертов характеризует степень близости их частных мнений. Анализ степени согласованности мнений экспертов позволяет выработать правильное суждение об общем уровне знаний в сфере поставленных задач и определить группы экспертов, мнения которых обусловлены общностью взглядов, концепций, существованием научных школ, характером профессиональной деятельности.

При групповом экспертном оценивании возникает необходимость получения обобщенной оценки объектов на основе индивидуальных оценок экспертов. Если эксперты оценивали объекты количественно, то задача построения групповой оценки заключается в определении ее среднего значения. При измерении в порядковой шкале методом ранжирования или парного сравнения обработка индивидуальных оценок осуществляется построением обобщенного упорядочения объектов путем осреднения их индивидуальных оценок.

Обработка результатов экспертного оценивания позволяет оценить степень близости мнений экспертов, используя зависимости между их индивидуальными суждениями. Определение зависимости между оценками объектов, построенными по различным показателям сравнений, дает возможность определить связанные между собой показатели и сформировать экспертные группы по степени взаимосвязи.

Решение ряда задач технического характера невозможно осуществить только лишь упорядочением объектов по одному или

по группе показателей. Необходимо также иметь количественные значения относительной важности объектов, а также учитывать и оценивать еще и вероятности возникновения техногенных аварий.

Оценки объектов, получаемые при обработке результатов экспертного оценивания, представляют собой случайные величины, поэтому важным является определение степени их достоверности.

При оценке объектов подъемно-транспортной техники мнения экспертов зачастую расходятся в суждениях по решаемой проблеме. Поэтому целесообразно применять количественную оценку степени согласованности их мнений, что позволяет более обоснованно оценивать причины такого расхождения. Оценка согласованности мнений экспертов основана на использовании понятия компактности, которое можно представить в виде геометрической интерпретации результатов экспертизы. Оценка каждого эксперта отображается в виде точки в некотором пространстве, где имеется понятие расстояния. Если точки, характеризующие оценки всех экспертов, расположены на небольшом расстоянии друг от друга и образуют компактную группу, то можно говорить о хорошей согласованности мнений экспертов. Если же точки в пространстве имеют существенный разброс, то согласованность мнений экспертов невысокая. Если точки – оценки экспертов – расположены в пространстве так, что образуют две и более компактные группы, то в экспертной группе существуют две или несколько существенно отличающихся точек зрения на оценку объектов.

Итоговая оценка согласованности мнений экспертов зависит от использования количественной или качественной шкалы измерения и выбора меры степени согласованности.

При использовании количественной шкалы измерения и оценке одного параметра объекта мнения экспертов отображаются как точки на числовой оси. Эти точки рассматриваются как

реализации случайной величины и для оценки центра группировки точек и их разброса используют известные методы математической статистики. Центр группировки точек определяется как математическое ожидание или среднеарифметическое случайной величины, а их разброс – как дисперсия случайной величины. Мерой согласованности оценок экспертов может служить отношение среднеквадратического отклонения к математическому ожиданию случайной величины.

Если оценка объекта выполняется по нескольким числовым параметрам, то мнение каждого эксперта отображается точкой в пространстве параметров. Центр группировки точек вычисляется как математическое ожидание вектора параметров, а разброс точек – как дисперсия вектора параметров. Мерой согласованности мнений экспертов является сумма расстояний оценок от среднего значения, отнесенная к расстоянию математического ожидания от начала координат. Мерой согласованности может также служить количество точек, расположенных в радиусе среднеквадратического отклонения от математического ожидания, ко всему количеству точек.

При измерении объектов в порядковой шкале согласованность оценок экспертов в виде ранжировок или парных сравнений объектов также основывается на понятии компактности. При ранжировке объектов используется мера согласованности мнений группы экспертов – дисперсионный коэффициент согласия.

Групповая экспертная оценка определяется суммированием индивидуальных оценок с весами компетентности и важности показателей при измерении свойств объектов в количественных шкалах. Она основывается на предположении о выполнении аксиом теории полезности фон Неймана-Моргенштерна [4] как для индивидуальных, так и групповых оценок и условии неразличимости объектов в групповом отношении, если они неразличимы во всех индивидуальных оценках. В реальных

экспертных задачах оценки объектов подъемно-транспортной техники эти условия, как правило, выполняются, поэтому получение групповой оценки путем суммирования с весами индивидуальных оценок экспертов широко применяется на практике.

Коэффициенты компетентности экспертов можно вычислить по апостериорным данным, т.е. по результатам оценки объектов. Основной идеей этого вычисления является предположение о том, что компетентность экспертов должна оцениваться по степени согласованности их оценок с групповой оценкой объектов.

Если исходная информация от экспертов по оценке объектов представляется в виде матриц парных сравнений, то возможны случаи нарушения условия транзитивности. Это обусловлено тем, что эксперт производит сравнение только пар объектов, а условие транзитивности связано с рассмотрением не менее трех объектов. При ранжировках эксперт автоматически выполняет условие транзитивности, иначе это будет нарушать логику упорядочения объектов. Усреднение результатов по множеству экспертов нивелирует индивидуальные ошибки экспертов, в результате чего отдельные нетранзитивности объектов устраняются.

Построение обобщенной ранжировки объектов по результатам их парных сравнений предполагает, что все объекты сравниваются экспертами друг с другом. Однако возможно построение обобщенной ранжировки по результатам парных сравнений только части объекта.

При обработке результатов ранжирования могут возникнуть задачи определения зависимости между ранжировками двух экспертов, между достижениями двух различных целей или между двумя признаками. В этих случаях мерой взаимосвязи может служить *коэффициент ранговой корреляции*. Известны коэффициенты ранговой корреляции Спирмена-Кендалла [5].

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена-Кендалла определяется по формуле:

$$p = 1 - \frac{6}{m^3 - m} \sum_{j=1}^m (r_{1j} - r_{2j})^2, \quad (1)$$

где m – число ранжируемых объектов, r_{1j} , r_{2j} – ранги в первой и второй ранжировках соответственно.

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена-Кендалла изменяется от -1 до $+1$. Равенство единице достигается при одинаковых ранжировках, т. е. когда $r_{1j} = r_{2j}$ ($j = \overline{1, m}$). Значение $p = -1$ имеет место при противоположных ранжировках. При равенстве коэффициентов корреляции нулю ранжировки считаются линейно независимыми.

Оценка коэффициента корреляции, вычисленная по формуле (1), является случайной величиной. Для определения значимости этой оценки необходимо задаться величиной вероятности, принять решение о значимости коэффициента корреляции и определить значение порога ε по формуле:

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{m-1}} \xi \left(\frac{1-\beta}{2} \right), \quad (2)$$

где m – количество объектов, $\psi(x)$ – функция,

обратная функции $\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$,

которая имеет табличные значения. После вычисления порогового значения оценка коэффициента корреляции считается значимой, если $|\rho| < \varepsilon$.

Если в ранжировках имеются связанные ранги, то коэффициент Спирмена-Кендалла вычисляется по следующей формуле:

$$p = \frac{p - T_1 - T_2}{\sqrt{(1 - T_1)(1 - T_2)}}, \quad (3)$$

где p – оценка коэффициента ранговой корреляции Спирмена-Кендалла, вычисляемая по формуле (1), а величины T_1 , T_2 равны:

$$T_1 = \frac{3}{m^3 - m_{k_1}} \sum k_1(k_1 - 1) \quad \text{и}$$

$$T_2 = \frac{3}{m^3 - m_{k_2}} \sum k_2(k_2 - 1).$$

k_1 и k_2 – количество различных связанных рангов в первой и второй ранжировках соответственно.

Выводы. Экспертиза как способ получения информации используется при выработке решений по различным проблемам. Однако научные исследования по ее применению для решения задач по оценке технических и промышленных объектов были начаты не так давно. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что в настоящее время экспертные оценки являются сформировавшимся научным методом анализа сложных неформализуемых проблем. Применение метода экспертных оценок в современных условиях при значительной степени износа объектов подъемно-транспортной техники позволяет формализовать проблему и принять оптимальное решение при решении задач оценки степени износа и остаточного ресурса таких объектов.

Список источников

1. Антипов И.В. Метод экспертных оценок в задачах принятия управленческих решений / И.В. Антипов, В.В. Харченко // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк: Алекс, 2003. – С. 97-104. – Текст: непосредственный.
2. Абашидзе Т.Л. Оценка качества подготовки выпускников вуза на основе метода Дельфи / Т.Л. Абашидзе, Е.Л. Федотова //

Науковедение: интернет-журнал – 2013. – № 1(14). – С. 81. – Текст: непосредственный.

3. Смирнов В.Е. Кардиналистская, ординалистская концепции и теория ожидаемой полезности Дж. фон Неймана и Оскара Моргенштерна. Общее и частное / В.Е. Смирнов // Вестник научных конференций. – 2019. – № 4-1(44). – С. 93-96. – Текст: непосредственный.

4. Заслонко О.К. Использование коэффициентов ранговой корреляции Спирмена и Кендалла для проверки гипотезы влияния образования на экономический рост / О.К. Заслонко // Региональная экономика: теория и практика. – 2010. – № 44. – С. 36-45. – Текст: непосредственный.

References

1. Antipov I.V. Method of expert assessments in the tasks of making management decisions / I.V. Antipov, V.V. Kharchenko // Physical and technical problems of mining production. – Donetsk: Alex, 2003. – P. 97-104. – Text: direct.
2. Abashidze T.L. Assessing the quality of training of university graduates based on the Delphi method / T.L. Abashidze, E.L. Fedotova // Internet Journal of Science. – 2013. – No. 1(14). – P. 81. – Text: direct.
3. Smirnov V.E. Cardinalist, ordinalist concepts and the theory of expected utility by J. von Neumann and Oskar Morgenstern. General and particular / V.E. Smirnov // Bulletin of scientific conferences. – 2019. – No. 4-1(44). – pp. 93-96. – Text: direct.
4. Zaslanko O.K. Using Spearman and Kendall rank correlation coefficients to test the hypothesis of the influence of education on economic growth / O.K. Zaslanko // Regional economics: theory and practice. – 2010. – No. 44. – P. 36-45. – Text: direct.

Статья поступила в редакцию 10.06.2024

Информация об авторах

Антипов Игорь Владиславович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Подъемно-транспортная техника» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: iantypov@ukr.net.

Коструб Владимир Алексеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортная техника» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: vkostrub@mail.ru.

Хлапонин Олег Сергеевич, директор по управлению персоналом ЧАО «Лугцентрокуз им. С.С. Монятовского», г. Луганск.
E-mail: lck.khlaponin@yandex.ru.

Рекиян Павел Николаевич, ст. преподаватель кафедры «Подъемно-транспортная техника» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: p.rekiyan@yandex.ru.

Information about the authors

Antipov Igor, Dr. Sci. (Eng.), Prof., professor of the «Lifting and transport equipment» Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: iantypov@ukr.net.

Kostrub Vladimir Alekseyevich, candidate of technical Sciences, Associate Professor of the Department “Lifting and transport equipment”, Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: vkostrub@mail.ru.

Khlaponin Oleg Sergeevich, Director of Human Resources Management of PJSC «Lugtsentrokuz named after. S.S. Monyatovsky».
E-mail: vkostrub@mail.ru.

Rekiyan Pavel Nikolaevich, Art. teacher of the department "Lifting and transport equipment", Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: p.rekiyan@yandex.ru

Для цитирования:

Антипов И.В., Коструб В.А., Хлапонин О.С., Рекиян П.Н. Реализация метода экспертных оценок при обследовании объектов подъемно-транспортной техники // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 7 (85). – С. 14-20.

For citations:

Antipov I.V., Kostrub V.A., Khlaponin O.S., Rekiyan P.N. The implementation of the method of expert assessments in the examination of objects of lifting and transport equipment // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 7 (85). – P. 14-20.

УДК 621.86

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ КРАНОВ
С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ****Бабенко А. И., Мирошников А. А., Вербская Л. М.****DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR DIAGNOSIS OF AUTOMOBILE CRANES
USING COMPUTER TECHNOLOGIES****Babenko A. I., Miroshnikov A. A., Verbskaya L. M.**

***Аннотация.** Проведен анализ дефектов металлоконструкций автомобильных кранов, проведена классификация их видов и частоты возникновения. Предложен метод диагностики износа и оценки износа металлоконструкций с применением измерительной лаборатории на базе АЦП.*

***Ключевые слова:** диагностика, остаточный ресурс, дефекты металлоконструкций, компьютерный измерительный комплекс на базе АЦП.*

***Abstract.** An analysis of defects in metal structures of automobile cranes was carried out, a classification of their types and frequency of occurrence was carried out. A method for diagnosing wear and assessing the wear of metal structures using a measuring laboratory based on an ADC is proposed.*

***Key words:** diagnostics, residual life, defects in metal structures, computer measuring complex based on ADC.*

Введение. Автокраны являются одним из наиболее востребованных видов спецтехники ввиду широкой области применения и мобильности. Они представляют собой комбинацию грузового автомобиля, на шасси которого базируется подъемный кран.

В зависимости от грузоподъемности все автокраны можно условно поделить на три основных типа: легкие небольшой грузоподъемности, средней грузоподъемности и тяжелые большой грузоподъемности. От типа крана во многом зависит область его применения.

Главными достоинствами автокранов являются маневренность и высокая скорость. Такие краны являются основными грузоподъемными машинами на строительных площадках и трассах строительства разных коммуникаций. Широкое распространение

стреловых самоходных кранов обеспечили: автономность привода, большая грузоподъемность (до 250 т), высокая маневренность и мобильность, широкий диапазон параметров, легкость перебазировки с одного объекта на другой, возможность работы с разными видами сменного рабочего оборудования (универсальность) и т.п. Особенно востребованы в ситуациях, когда работы необходимо произвести в условиях ограниченного пространства.

По статистическим данным различных отраслей промышленности, парк грузоподъемных машин, отработавших нормативный срок службы, составляет 80–82 %. В течение последних лет сохраняются стабильные статистические данные – более 850 аварий за год.

Материалы и методы. Методы определения остаточного ресурса особо опасных объектов, поднадзорных Ростехнадзору, сформулированы в ГОСТ 22827-85 «Краны стреловые самоходные общего назначения. Технические условия», методических указаниях РД 10-112-1-04 «Рекомендации по экспертному обследованию грузоподъемных машин, общие положения», методических указаниях по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы РД 10-112-96 и РД 10-112-5-97 «Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы».

Сроки продления эксплуатации крана после выработки нормативного срока службы зависят от текущего состояния, от выработки на момент принятия решения ресурса крана, а также возможности частичного восстановления ресурса. Разбросы технического состояния элементов и узлов «старых» кранов одной и той же конструкции, определяющих ресурс, значительно больше, чем указывается в технической документации, т. к. на ресурс оказывают влияние разнообразие методов конструирования узлов и агрегатов кранов, технология изготовления, фактические условия эксплуатации и особенности технического обслуживания.

Почти все согласованные Ростехнадзором действующие методики оценки остаточного ресурса не учитывают изменений напряженного состояния, связанного с ремонтом (усилением) или заменой отдельных элементов металлоконструкций, поэтому они еще далеки до совершенства.

В этой связи представляется актуальным проведение анализа дефектов, возникающих на автомобильных кранах, и на этой основе разработка классификации и кодирования дефектов автомобильных кранов и системы их диагностирования с применением компьютерных технологий.

Результаты и обсуждения. В процессе эксплуатации автокранов их металлические конструкции подвергаются интенсивному

воздействию различных физико-химических процессов, приводящих к физическому износу, коррозии, образованию трещин, остаточным деформациям. Физический износ металлоконструкций способствует росту динамических нагрузок. Их интенсивность определяет величину и скорость накопления повреждений, приводящих к частичной, а затем и к полной утрате работоспособности конструкций. Особо остро эта проблема касается грузоподъемных машин, отработавших свой срок службы. Грузоподъемные машины, отработавшие нормативный срок службы, подвергаются экспертному обследованию (диагностированию), проводимому специализированными организациями в соответствии с нормативными документами. По результатам обследования оформляется акт обследования с заключением комиссии и приложениями, включающими информацию об объекте обследования, о фактических условиях использования ГПМ, их общем состоянии и состоянии отдельных узлов на момент обследования, о количестве дефектов с их классификацией, о характере работ, выполняемых ГПМ, результатах статических и динамических испытаний и т.д. Из этой ведомости можно узнать паспортные данные крана, а также, что важнее, наименование узла (элемента), в котором был обнаружен дефект; описание самого дефекта и заключение о необходимости и сроках устранения дефектов.

Подробная классификация дефектов, возникающих на автомобильных кранах, позволяет найти наиболее распространенные дефекты, характерные для каждого типа кранов. Анализ полученных результатов дает возможность разработать методы по предупреждению возникновения дефектов, по диагностике крана во время его эксплуатации.

Пример ведомости дефектов для металлоконструкций автокранов приведен в виде табл. 1, где указаны наименования дефектов, обнаруженных на кранах, а также частота встречаемости дефекта.

Таблица 1

Дефекты, обнаруженные на кранах

Наименование дефекта	Частота встречаемости дефекта
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЯ	
Состояние окраски неудовлетворительное	74
Выработка отверстий под оси опорных роликов на корневой секции стрелы и оголовке	5
Выработка отверстий под пальцы двуногой стойки и пяты стрелы	2
Ослаблено крепление опорно-поворотного устройства	19
Состояние неповоротной платформы неработоспособное	7
Состояние поворотной платформы неработоспособное	1
Состояние корневой секции стрелы неработоспособное	1
Выработка отверстий под оси аутригеров	3
Деформация оголовка стрелы в месте опирания на опорные ролики	2
Отклонение от прямолинейности оси стрелы	2
Выработка отверстий под оси соединения корневой секции и оголовка	2
Выработка отверстий под оси соединения стрелы и стоек стрелы	1
Отсутствуют косынки в местах прилегания опорного кольца крепления опорно-поворотного устройства	1
Коррозионный износ до 15% при допуске 10%	1
Трещины по сварным швам опорной рамы	1
Трещины по сварным швам и металлу на неповоротной платформе	97
Трещины по усиливающим косынкам на неповоротной платформе	2
Отрыв упора от запрокидывания стрелы	1
Разрыв сварного шва и трещина по сварному шву на поворотной платформе	25
Неработоспособное состояние стрелы	2
Вздутие закрытой полости (стрела)	3
Вздутие верхнего листа корневой секции стрелы	3
Износ полок нижних уголков оголовка стрелы	2
Деформация вертикальных и горизонтальных листов	8
Изогнутость оголовка стрелы (из плоскости стрелы)	1
Деформация аутригеров	14
Деформация раскосов стрелы	29
Трещина по основному металлу подшипниковой обоймы	1
Трещины по сварным швам на оголовке стрелы	5
Опорно-поворотное устройство не работает	2
Деформация двуногой стойки	11
Деформация поперечины стойки стрелы	8
Деформация несущего пояса оголовка стрелы	2
Деформация торцевой пластины на оголовке стрелы	9
Деформация нижнего правого пояса корневой секции стрелы	6
Деформация нижнего левого пояса корневой секции стрелы	5
Деформация верхнего левого пояса корневой секции стрелы	2
Деформация правого нижнего пояса оголовка стрелы	5
Местные деформации нижней стены корневой секции стрелы	1
Трещины по сварным швам корневой секции стрелы	7
Деформация левого нижнего пояса оголовка стрелы	3
Деформация поперечины нижней стены корневой секции стрелы	3
Состояние корневой секции стрелы неработоспособное	1
Перекося поворотных обойм по отношению к неподвижному венцу	16
Ослаблены болтовые соединения опорно-поворотного устройства	76

По полученным данным можно построить диаграммы. Каждая диаграмма наглядно отображает, какие дефекты характерны для

определенного узла крана и на каком количестве кранов встречается каждый дефект.

Диаграмма дефектов металлоконструкций автокранов приведена на рис. 1.

Процесс диагностирования является весьма трудоемким и затратным, что накладывает ряд ограничений на его проведение. При этом в последнее время широкое распространение получили компьютерно-ориентированные средства измерений, часто называемые виртуальными приборами. Основные достоинства таких приборов – относительно низкая стоимость, высокая мобильность, органичная

интегрированность в компьютерные технологии, возможность легкой адаптации и развития программного обеспечения под измерительные задачи. Непосредственное и разнообразное использование аппаратно-программных ресурсов управляющего компьютера позволяет ограничиться аппаратной реализацией только измерительно-интерфейсной части прибора. Особую популярность в последние годы приобрели виртуальные приборы, выполненные в виде приставки к компьютеру с интерфейсом USB.

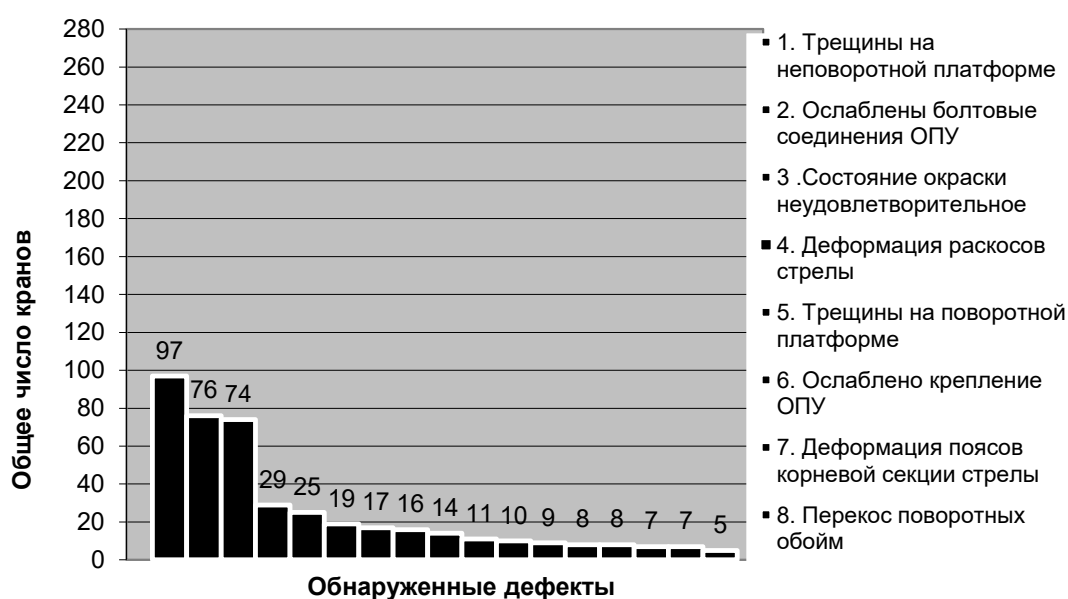


Рис. 1. Диаграмма дефектов металлоконструкций автокранов

Разработан измерительный комплекс на базе АЦП Е14-140М (далее – комплекс), работающий в режиме USB-связи с персональным компьютером или ноутбуком. Компьютер в комплексе с программным обеспечением Power Graph, реализованным в системе Microsoft Windows, выполняет функции устройства управления, накопления, обработки и отображения измерительной информации [3]. Комплекс включает в себя базовый модуль АЦП, содержащий встроенный источник питания, усилитель сигнала с датчика, блок питания усилителя и тензометрические датчики.

Для обеспечения мобильного диагностирования элементов

металлоконструкций на их опасные места наклеиваются тензодатчики, подключаемые периодически к регистрирующей аппаратуре-модулю АЦП. При проведении диагностирования кран нагружается тестовой нагрузкой, модуль АЦП регистрирует их показания, которые переводятся в реальные значения деформаций и напряжений и сравниваются с контрольными значениями. По величине отклонения от контрольных значений делается заключение о степени износа металлоконструкции и возможности дальнейшей эксплуатации автокрана.

Общий вид лабораторной установки и измерительной тензометрической системы показан на рис. 2.

С использованием предложенной методики проведено обследование автокрана грузоподъемностью 16 т на шасси КамАЗ-

53213. Результаты измерений показали хорошую корреляцию с результатами натурных обследований в пределах 85%.

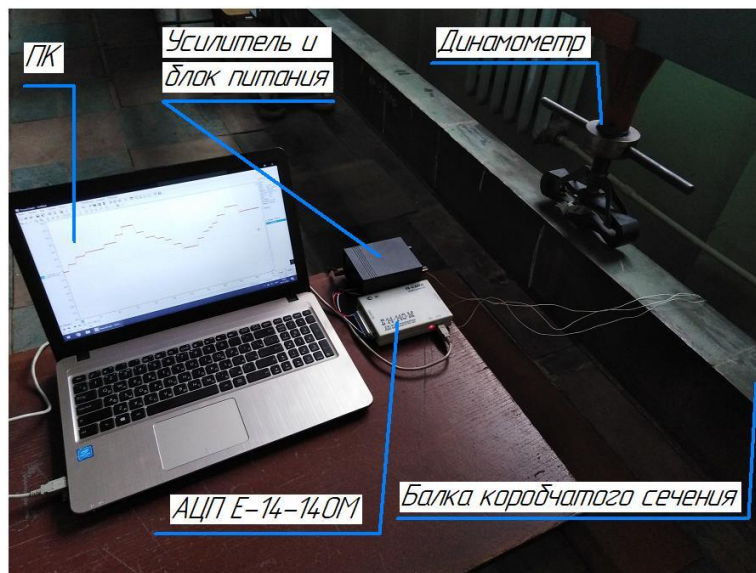


Рис. 2. Общий вид лабораторной установки и измерительной тензометрической системы

Выводы. Применение измерительной лаборатории на базе АЦП позволяет проводить оценку износа и остаточного ресурса огромного спектра машин, механизмов и оборудования в производственных условиях. Использование тензометрии в реальных условиях эксплуатации дает возможность регистрировать значения деформаций во времени и минимизировать затраты на диагностику металлоконструкций грузоподъемных машин.

Список источников

1. Ермоленко В.А. Расчет механизма подъема груза мостового крана: методические указания. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
2. Инструкция по эксплуатации автомобиля КамАЗ. – М., 1981.
3. Коструб В.А., Мирошников А.А. Разработка мобильной multifunctional measuring laboratory на базе АЦП // Механическое оборудование металлургических заводов. – 2020. – № 2 (15). – С. 49-55.
4. Мирошников А.А., Будиков Л.Я., Рекиян П.Н. Анализ напряженно-деформированного состояния металлоконструкции с помощью тензометрии на базе аналого-цифрового преобразователя //

Механическое оборудование металлургических заводов. – 2018. – № 2 (11). – С. 32-37.

5. Техническое описание и инструкция по эксплуатации КС – 4572.

References

1. Ermolenko V.A. Calculation of the mechanism for lifting loads of an overhead crane: guidelines. – Moscow: Izdatelstvo MGTU im. N.E. Bauman, 2004.
2. Operating instructions for KamAZ vehicle. – Moscow, 1981.
3. Kostруб V.A., Miroshnikov A.A. Development of a mobile multifunctional measuring laboratory based on an ADC // Mekhanicheskoe oborudovanie metallurgicheskikh zavodov. – 2020. – № 2 (15). – S. 49-55.
4. Miroshnikov A.A., Budikov L.Ia., Rekiian P.N. Analysis of the stress-strain state of a metal structure using strain gauges based on an analog-to-digital converter // Mekhanicheskoe oborudovanie metallurgicheskikh zavodov. – 2018. – № 2 (11). – S. 32-37.
5. Technical description and operating instructions KS – 4572.

Статья поступила в редакцию 10.06.2024

Информация об авторах

Бабенко Андрей Иванович, магистрант кафедры «Подъемно-транспортная техника», Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: andrej.man.ru@mail.ru

Мирошников Алексей Александрович, ст. преподаватель кафедры «Подъемно-транспортная техника» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: Mirr_001@mail.ru

Вербская Людмила Михайловна, ст. преподаватель кафедры «Подъемно-транспортная техника», Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: lusikoverbskaya@mail.ru

Information about the authors

Babenko Andrey Ivanovich, master's student of the department of "Lifting and transport equipment" Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: andrej.man.ru@mail.ru.

Miroshnikov Alexey Alexandrovich, Art. teacher of the department "Lifting and transport equipment" Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: Mirr_001@mail.ru.

Verbskaya Ludmila Mikhailovna, Art. teacher of the department "Lifting and transport equipment", Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: lusikoverbskaya@mail.ru

Для цитирования:

Бабенко А.И., Мирошников А.А., Вербская Л.М. Разработка системы диагностирования автомобильных кранов с применением компьютерных технологий // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 7 (85). – С. 21-26.

For citations:

Babenko A.I., Miroshnikov A.A., Verbskaya L.M. Development of a system for diagnosis of automobile cranes using computer technologies // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 7 (85). – P. 21-26.

УДК 621.43

**РАСЧЕТ РАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ УТИЛИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
КАСКАДНО-ТЕПЛОВОГО СЖАТИЯ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВОЗА****Брянцев М. А., Данилейченко А. А., Ковтун А. С., Доценко Д. М.****CALCULATION OF DIMENSIONAL PARAMETERS OF THE UTILIZATION
SYSTEM OF CASCADE-THERMAL COMPRESSION OF THE POWER PLANT
DIESEL LOCOMOTIVE****Bryantsev M. A., Danileychenko A. A., Kovtun A. S., Dotsenko D. M.**

Аннотация. Целью исследования является решение актуальной проблемы по снижению затрат топлива и негативного влияния выбросов тепловой энергии на окружающую среду при выполнении перевозок на транспорте. В работе решается задача определения основных размерных параметров двухконтурной утилизационной системы каскадно-теплового сжатия (КТС) силовой установки тепловоза. В таких системах утилизации применяется низкокипящая органическая жидкость (НЖ) в качестве присадки к основному рабочему телу – воздуху, что позволяет увеличить глубину утилизации теплоты отработавших газов, а также использовать теплоту низкотемпературных контуров, в частности, системы охлаждения дизеля. Методика определения основных параметров базируется на использовании расчетных зависимостей термодинамического цикла и поиска расходных субстанций в области локальных экстремумов функции КПД агрегата каскадно-теплового сжатия для различных концентраций НЖ в рабочей смеси агрегата КТС. Найденные параметры рабочего цикла агрегата каскадного сжатия – максимальные давление и температур – дают возможность оценить производительность системы для каждого из значений исследуемого ряда объемов проточной части ротора V_R , соответствующих рассматриваемому режиму локального экстремума коэффициента полезного действия агрегата каскадного сжатия. Искомое значение V_R соответствует условию наилучшей работы системы в целом по критерию располагаемой работы газов перед расширительной машиной, максимум которой свидетельствует о соответствии искомого значения V_R условиям достижения наибольшей эффективности работы всей утилизационной системы.

Ключевые слова: утилизация теплоты, каскадно-тепловое сжатие, низкокипящая жидкость.

Abstract. The purpose of the study is to solve the urgent problem of reducing fuel consumption and the negative impact of thermal energy emissions on the environment during transportation. The paper solves the problem of determining the main dimensional parameters of the two-circuit utilization system of cascade-thermal compression (CTC) of the locomotive power plant. In such recovery systems, low-boiling organic liquid (LF) is used as an additive to the main working fluid - air, which makes it possible to increase the depth of heat recovery of exhaust gases, as well as to use the heat of low-temperature circuits, in particular, the diesel cooling system. The method of determining the main parameters is based on the use of the calculated dependencies of the thermodynamic cycle and the search for consumables in the area of local extremes of the efficiency function of the cascade-thermal compression unit for various concentrations of LC in the working mixture of the CTC unit. The found parameters of the working cycle of the cascade compression unit -

maximum pressure and temperature - make it possible to assess the performance of the system for each of the values of the studied series of rotor flow volumes corresponding to the considered modes of the local extremum of the efficiency of the cascade compression unit. The desired value V_R corresponds to the condition of the best operation of the system as a whole according to the criterion of the available work of gases in front of the expansion machine, the maximum of which indicates the compliance of the desired value V_R with the conditions for achieving the highest efficiency of the entire recovery system.

Key words: heat recovery, cascade-thermal compression, low-boiling liquid.

Введение. Перспективным направлением улучшения технико-экономических показателей тепловозов является применение утилизационных систем каскадно-теплого сжатия (УС КТС), предназначенных для преобразования сбросной теплоты силовой установки (дизеля) в энергию сжатого воздуха (газа), используемого, например, для получения дополнительной энергии в расширительной машине.

Устройство и принцип действия агрегата КТС рассмотрен в работах [1, 2].

Привлекательность таких систем обусловлена отсутствием механических объемных вытеснителей, а также дискретно управляемых газораспределительных органов. Следует отметить незначительность затрат мощности на привод ротора, поскольку энергетическая составляющая вращения не участвует в процессе сжатия воздуха, а выполняет только распределительные функции.

Материалы и методы. Один из резервов дальнейшего совершенствования УС КТС связан с применением низкокипящей органической жидкости (НЖ) в качестве присадки к основному рабочему телу – воздуху. Применение НЖ позволяет увеличить глубину утилизации теплоты отработавших газов, а также использовать теплоту низкотемпературных контуров, в частности, системы охлаждения дизеля (рис.1). Вместе с тем необходимым условием эффективной работы УС КТС является согласованность расхода НЖ и объемной пропускной способности ротора компрессора КТС с тепловыми потоками в высокотемпературном и низкотемпературном контурах. Ниже предлагается методика определения основных

параметров системы УС КТС, базирующаяся на использовании расчетных зависимостей термодинамического цикла и поиска расходных субстанций в области локальных экстремумов функции КПД агрегата КТС ($\eta_{\text{КТС}}$) для различных концентраций НЖ в рабочей смеси агрегата КТС ($k_{\text{НЖ}}$) (рис. 2).

Из рис. 2 очевидно неоднозначное влияние максимальной температуры цикла T_z на $\eta_{\text{КТС}}$ для различных концентраций низкокипящей жидкости. Режим работы агрегата КТС, на котором достигается локальный экстремум функции $\eta_{\text{КТС}} = \psi(T_z, k_{\text{НЖ}})$, не обязательно является наилучшим по критерию максимальной эффективности работы системы УС КТС ввиду одновременного влияния параметров T_z и $\eta_{\text{КТС}}$ на глубину утилизации сбросной теплоты.

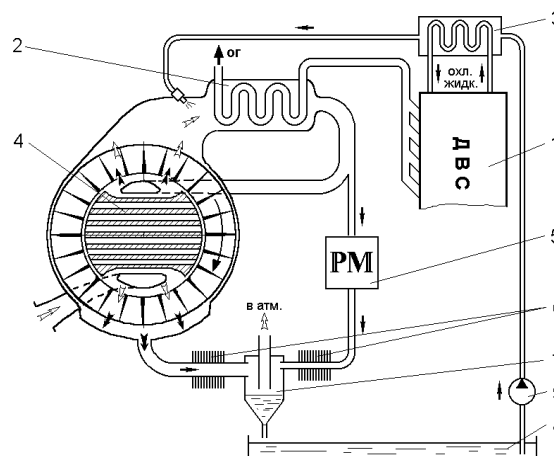


Рис. 1. Принципиальная схема системы утилизации каскадно-теплого сжатия:

1 – дизель, 2 – высокотемпературный утилизационный контур отработавших газов, 3 – низкотемпературный контур охлаждения дизеля, 4 – агрегат каскадно-теплого сжатия, 5 – расширительная машина, 6 – конденсатор, 7 – сепаратор, 8 – бак, 9 – насос

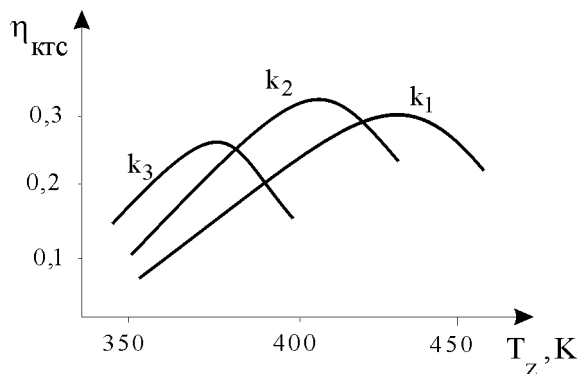


Рис. 2. Зависимость КПД агрегата КТС от максимальной температуры цикла для различных концентраций НЖ:
 $k_{НЖ1} = 0,2$; $k_{НЖ2} = 0,4$; $k_{НЖ3} = 0,6$.

Логическая схема решения поставленной задачи построена на сравнительном анализе только тех режимов работы системы УС КТС, на которых реализуется условие наилучшего преобразования утилизируемой теплоты в агрегате КТС. Расход низкокипящей жидкости $G_{НЖ}$, соответствующий возможности подогрева рабочей смеси до температуры локального экстремума $T_z^{ex}(k_{НЖ})$, может быть найден из уравнения теплового баланса высокотемпературного утилизационного контура отработавших газов (ТО ОГ). С учетом допущения о полном смешении потоков НЖ и воздуха во входном сечении ТО ОГ, имеем:

$$G_{ог} C_{p_{ог}} (T_{g1} - T_{g2}) k_{то} = G_{НЖ} C_{p_{НЖ}}^n (T_z - T_{см}) + G_{в} C_{p_{в}} (T_z - T_{см}) + (1 - X_{ох}) G_{НЖ} r_{НЖ}, \quad (1)$$

где $G_{ог}; G_{НЖ}; G_{в}$ — массовый расход соответственно отработавших газов, низкокипящей жидкости и воздуха;

$C_{p_{ог}}; C_{p_{НЖ}}^n; C_{p_{в}}$ — теплоемкости соответственно отработавших газов, пара низкокипящей жидкости и воздуха;

$T_{g1}; T_{g2}$ — температура отработавших газов на входе и выходе из ТО ОГ;

$r_{НЖ}$ — теплота парообразования низкокипящей жидкости;

$X_{ох}$ — степень сухости НЖ после низкотемпературного утилизационного контура охлаждения дизеля;

$T_{см}$ — температура смеси во входном сечении ТО ОГ.

Согласно принятому допущению, справедливому для случая полного выравнивания температур воздуха и низкокипящей жидкости в ТО ОГ, $T_{см}$ принимается равной температуре рабочего тела в условной камере смешения, размещаемой перед ТО ОГ.

Итак

$$T_{см} = \frac{T_{НЖ} \frac{k_{НЖ}}{\Phi_{выг}} [(1 - X_{ох}) C_{p_{НЖ}}^ж + X_{ох} G_{НЖ} C_{p_{НЖ}}^п]}{\left(1 + \frac{k_{НЖ}}{\Phi_{выг}}\right) C_{p_{см}} - C_{p_{в}}}. \quad (2)$$

В зависимости от соотношения тепловых потоков в низкотемпературном и высокотемпературном контурах возможна различная степень сухости низкокипящей жидкости ($X_{ох}$) на выходе из низкотемпературного утилизационного контура охлаждения дизеля (ТО ОХ). Однако при условии достаточной мощности теплового потока в контуре охлаждающей жидкости целесообразно стремиться к полному испарению НЖ в ТО ОХ. В этом случае тепло контура отработавших газов расходуется только на перегрев смеси до требуемой температуры и не затрачивается на доиспарение НЖ, что, в конечном счете, способствует повышению абсолютного расхода смеси в агрегате КТС и повышению его производительности.

В априорном предположении достаточной мощности теплового потока в контуре охлаждающей жидкости расход НЖ для

$X_{\text{ох}} = 1$ согласно уравнению (1) определяется выражением

$$G_{\text{нж}} = \frac{G_{\text{ог}} C_{p_{\text{ог}}} (T_{g1} - T_{g2})}{C_{p_{\text{нж}}}^n (T_z - T_{\text{см}}) + \frac{\phi_{\text{выт}}}{k_{\text{нж}}} C_{p_{\text{в}}} (T_z - T_{\text{см}})}. \quad (3)$$

Действительная степень сухости, которая может быть достигнута в ТО ОХ для полученного из (3) расхода $G_{\text{нж}}$, вычисляется из уравнения теплового баланса контура охлаждающей жидкости:

$$X_{\text{ох}}^p = \frac{G_{\text{ох}} C_{p_{\text{ох}}} (T_{w1} - T_{w2}) - G_{\text{нжс}} C_{p_{\text{нжс}}}^{\text{жс}} (T_s - T_{\text{нжс}}^{\text{вх}})}{G_{\text{нжс}} r_{\text{нжс}}}. \quad (4)$$

В случае невыполнения условия $X_{\text{ох}} = 1$ расход НЖ в смеси с воздухом не может быть доведен до параметров локального экстремума $\eta_{\text{ктс}}$, поскольку составляющая теплового потока ОГ, расходуемая на перегрев смеси, уменьшается затратами на доиспарение НЖ. Необходимое согласование параметров $G_{\text{нж}}$ и $X_{\text{ох}}$ выполняется по такой схеме: – определяется расход НЖ, соответствующий тепловому потоку в высокотемпературном теплообменнике (ТО ОГ), для предварительно найденного значения $X_{\text{ох}}$

$$G_{\text{нжс}} = \frac{G_{\text{ог}} C_{p_{\text{ог}}} (T_{g1} - T_{g2})}{C_{p_{\text{нжс}}}^n (T_z - T_{\text{см}}) + \frac{\phi_{\text{выт}}}{k_{\text{нжс}}} C_{p_{\text{в}}} (T_z - T_{\text{см}}) + (1 - X_{\text{ох}}) \cdot r_{\text{нжс}}}, \quad (5)$$

– по формуле (4) уточняется степень сухости $X_{\text{ох}}$, которая может быть реализована в ТО ОХ для полученного из (3) значения расхода $G_{\text{нж}}$ с учетом теплового потока в данном контуре.

В процессе последовательного приближения по формулам (4) и (5) определяется сочетание параметров $X_{\text{ох}}$ и $G_{\text{нж}}$, согласованное с тепловым потоком в обоих утилизационных контурах и заданной $k_{\text{нж}}$ в рабочей смеси агрегата КТС.

Выявленное значение $G_{\text{нж}}$ позволяет определить основной размерный параметр агрегата КТС – объем проточной части ротора V_R , соответствующий рассматриваемому режиму локального экстремума $\eta_{\text{ктс}}$.

$$V_R = \frac{60 G_{\text{нж}} \phi_{\text{выт}}}{k_{\text{нж}} n_R \rho_0 \phi_{\text{выт}}}. \quad (6)$$

Используя приведенный алгоритм, несложно определить ряд значений V_R , удовлетворяющих условиям других локальных экстремумов $\eta_{\text{ктс}} = \psi(T_z, k_{\text{нж}})$ (рис. 2).

Искомое значение V_R должно соответствовать условию наилучшей работы системы в целом по критерию располагаемой работы газов перед расширительной машиной:

$$P_{\text{уС}} = G_{\text{рм}} \cdot H_m = G_{\text{рм}} \cdot \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_z \cdot \left[1 - \left(\frac{P_z}{P_0} \right)^{\frac{1-k}{k}} \right], \quad (7)$$

где $G_{\text{рм}}$ – расход рабочего тела через расширительную машину; k – показатель адиабаты; R – газовая постоянная рабочего тела; P_0 – атмосферное давление.

Рассмотрим обменные процессы между двумя смежными ячейками в период их сообщения посредством передаточного канала.

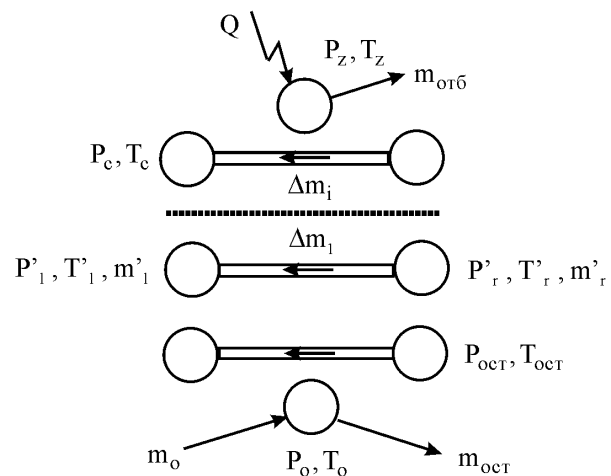


Рис. 3. Расчетная схема рабочего цикла агрегата КТС

Необходимые для определения потока теплоперепада параметры рабочего цикла агрегата КТС могут быть определены с помощью приведенной ниже методики упрощенного расчета термодинамических параметров цикла.

Расчет базируется на использовании уравнения I закона термодинамики для открытой системы в рамках следующих допущений: полное выравнивание давления в смежных ячейках ротора в процессе их подключения к передаточному каналу; отсутствие каких-либо потерь при перетекании рабочего тела в ячейках и передаточных каналах; полное смешение рабочего тела, поступающего из передаточного канала с рабочим телом, находящимся в ячейке. В соответствии с принятым допущением внутренняя энергия в ячейке в результате ее подключения к передаточному каналу изменяется на величину энтальпии поступившей (вышедшей) массы рабочего тела Δm :

$$u'_l = u_l + i_{\Delta m}; \quad u'_r = u_r - i_{\Delta m}. \quad (8)$$

Здесь и далее индексами «l» и «r» соответственно обозначены параметры в «левых» и «правых» ячейках, индекс «'» имеет параметры рабочего тела после смешения.

После преобразования:

$$\begin{aligned} m'_l \cdot T'_l \cdot C_v &= m_l \cdot T_l \cdot C_v + k \cdot C_v \cdot \Delta m \cdot T_r; \\ m'_r \cdot T'_r \cdot C_v &= m_r \cdot T_r \cdot C_v - k \cdot C_v \cdot \Delta m \cdot T_r, \end{aligned} \quad (9)$$

где k – показатель адиабаты; T_r – температура рабочего тела, отводимого от правых ячеек к левым; $C_{v_{см}} = C_{v_b} \cdot r_b + C_{v_{нж}} \cdot (1 - r_b)$ – средняя изохорная теплоемкость рабочего тела в ячейках; r_b – массовая доля воздуха в рассматриваемом объеме.

Масса рабочего тела в смежных ячейках, соответственно в «левой» и «правой», после

разобщения с передаточным каналом определяется из выражений:

$$m'_l = m_l + \Delta m; \quad m'_r = m_r - \Delta m. \quad (10)$$

Учитывая незначительное изменение теплоемкости смеси в диапазоне рабочих температур (рабочего цикла КТС), из уравнений (9) и (10) получим:

$$\begin{aligned} m_l \cdot T_l + k \cdot \Delta m \cdot T_r &= (m_l + \Delta m) \cdot T'_l; \\ m_r \cdot T_r - k \cdot \Delta m \cdot T_r &= (m_r - \Delta m) \cdot T'_r, \end{aligned} \quad (11)$$

откуда выражения для определения температур рабочего тела в смежных ячейках принимают следующий вид:

$$\begin{aligned} T'_l &= \frac{m_l \cdot T_l + k \cdot \Delta m \cdot T_r}{m_l + \Delta m}, \\ T'_r &= \frac{m_r \cdot T_r - k \cdot \Delta m \cdot T_r}{m_r - \Delta m}. \end{aligned} \quad (12)$$

Запишем уравнение состояния рабочего тела в смежных ячейках:

$$p'_l = \frac{m'_l \cdot R \cdot T'_l}{V} = \frac{R \cdot (T_l \cdot m_l + k \cdot \Delta m \cdot T_r)}{V}; \quad (13)$$

$$p'_r = \frac{m'_r \cdot R \cdot T'_r}{V} = \frac{R \cdot (T_r \cdot M_r - k \cdot \Delta m \cdot T_r)}{V}. \quad (14)$$

Масса перетекающего через перепускной канал газа находится из уравнений (13) и (14) по условию выравнивания давления в смежных ячейках:

$$\Delta m = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_r \cdot T_r - m_l \cdot T_l}{k \cdot T_r}. \quad (15)$$

Выполняя аналогичный расчет для каждой из пар смежных ячеек, задавая в качестве исходного состояния параметры рабочего тела в ближайших по встречному направлению ячейках, легко построить индикаторную

диаграмму цикла по углу поворота ротора на установившемся режиме.

При этом максимальная температура цикла с учетом впрыска НЖ определяется формулой:

$$T_z = T_c + \frac{Q_{\text{подв}}}{(m_c + m_{\text{нж}})Cv_{\text{см}} + m_{\text{нж}} \cdot r_{\text{нж}}}, \quad (16)$$

где $m_{\text{нж}} = k_{\text{нж}} \cdot m_0$ – масса впрыскиваемой НЖ; $r_{\text{нж}}$ – теплота парообразования НЖ; $Q_{\text{подв}}$ – количество подводимой в цикле теплоты.

Максимальное давление цикла в зависимости от количества отводимого к расширительной машине потока определяется формулой:

$$p_z = \frac{R \cdot (m_c + m_{\text{нж}} - m_{\text{отб}}) \cdot T_z \cdot Z_y}{V_R}, \quad (17)$$

где Z_y – количество ячеек в роторе; $m_{\text{отб}} = \frac{60 \cdot G_{\text{PM}}}{Z_y \cdot n}$ – масса отбираемого из каждой ячейки рабочего тела.

Выводы. Найденные параметры рабочего цикла p_z и T_z дают возможность по формуле 7 оценить производительность системы для каждого из значений исследуемого ряда V_R . Максимум целевой функции $\Pi_{\text{УС}}$ свидетельствует о соответствии искомого значения V_R условиям достижения наибольшей эффективности работы УС КТС.

Список источников

1. Данилейченко А.А., Ковтун, А.С. Особенности рабочего цикла компрессора

каскадно-теплого сжатия //Материалы Международной научно-практической конференции преподавателей, студентов и молодых ученых "Современные проблемы транспорта", Луганск, 14 апр., 2022 г. / ЛГУ им. В. Даля. – Луганск, 2022. – С. 169-170.

2. Брянцев М.А., Данилейченко А.А. Рабочий цикл компрессора каскадно-теплого сжатия // Проблемы развития технологий создания, сервисного обслуживания и использования технических средств в агропромышленном комплексе: материалы международной научно-практической конференции, Россия, Воронеж, 15-16 ноября 2017 г./ ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – Воронеж, 2017. – С.66-69.

References

1. Danileychenko A.A., Kovtun, A.S. Osobennosti rabocheho cikla kompressora kaskadno-teplovogo szhatiya [Features of the working cycle of a cascade-thermal compressor]. Proceedings of the international scientific and practical conference of teachers, students and young scientists "Modern problems of transport", Lugansk, 14 april, 2022. Lugansk Vladimir Dahl State University, 2022, – p. 169-170. (In Russ.)

2. Bryantsev M.A., Danileychenko A.A. Rabochij cikl kompressora kaskadno-teplovogo szhatiya [Cascade Thermal Compressor Duty Cycle]. Problems of the development of technologies for the creation, maintenance and use of technical means in the agro-industrial complex: materials of the international scientific and practical conference, Russia, Voronezh, 15-16 November, 2017. Voronezh State Agrarian University, 2017, – p.66-69. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 10.06.2024

Информация об авторах

Брянцев Максим Анатольевич, старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: 280376@rambler.ru

Данилейченко Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Ковтун Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Доценко Данил Михайлович, старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Information about the authors

Bryantsev Maksim Anatolievich, senior lecturer of the «Internal combustion engines» Department of Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: 280376@rambler.ru

Danileychenko Alexander Anatolievich, Candidate of technical sciences, associate professor of the department "Internal combustion engines", Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

Kovtun Alexander Sergeevich, senior lecturer of the «Internal combustion engines» Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

Dotsenko Danil Mikhailovich, senior lecturer of the «Internal combustion engines» Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

Для цитирования:

Брянцев М.А., Данилейченко А.А., Ковтун А.С., Доценко Д.М. Расчет размерных параметров утилизационной системы каскадно-теплового сжатия силовой установки тепловоза // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 7 (85). – С. 27-33.

For citations:

Bryantsev M.A., Danileychenko A.A., Kovtun A.S., Dotsenko D.M. Calculation of dimensional parameters of the utilization system of cascade-thermal compression of the power plant diesel locomotive // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 7 (85). – P. 27-33.

УДК 621.86

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОДЪЁМА ГРУЗА МОСТОВЫМ ГРЕЙФЕРНЫМ КРАНОМ

Коструб В. А., Борисов Д. П., Вербская Л. М.

STUDY OF THE DYNAMICS OF LOAD LIFTING WITH AN OVERHEAD GRAPHLE CRANE

Kostrub V. A., Borisov D. P., Verbskaya L. M.

Аннотация. Грузоподъемные машины работают в режиме повторно-кратковременного включения механизмов, характеризующегося частыми пусками и остановками. Переходные процессы оказывают одно из решающих влияний на технико-эксплуатационные показатели работы кранов. Поэтому исследования переходных процессов (режимов) работы кранов, а также создание пусковых и тормозных устройств, формирующих рациональные переходные режимы, актуальны и необходимы для обеспечения конкурентоспособности отечественных машин на мировом рынке.

Ключевые слова: динамика, подъем груза, анализ, мостовой кран.

Abstract. Hoisting machines operate in a mode of intermittent inclusion, characterized by frequent starts and stops. Transients have one of the decisive effects on the technical and operation performance of cranes. So that the researches of transients (modes) of cranes, as well as the creation of starting and bracking devices that form rational transient modes that ensure the competitiveness of domestic machines on the world market.

Key words: dynamics, cargo lifting, analysis, bridge crane.

Введение. Анализ научных публикаций по динамике грузоподъемных кранов показывает огромный интерес ученых к исследованиям, связанным с точным определением и улучшением параметров переходных режимов работы грузоподъемных кранов, что подтверждает актуальность этого научного направления [1-4].

При исследовании динамики грузоподъемных машин в настоящее время доминирует детерминированный подход, при котором на основании тщательного изучения механизма явлений строится динамическая модель объекта. Динамическая модель служит переходным звеном к математической модели

объекта, которая представляется в виде совокупности математических уравнений и зависимостей, решением которой и определяются значения динамических нагрузок различных элементов приводов и металлоконструкции крана [1, 2].

Материалы и методы. Рассмотрим в качестве примера грейферный мостовой кран. Для лучшего понимания процесса изменения динамических нагрузок при подъеме груза с подхватом условно разобьем его на три этапа [5-9]: первый – этап холостого хода, когда масса вращающихся частей привода m_{Π} под действием силы привода P_{Π} выбирает суммарный зазор Δ_K в канатах и приводе (рис.

1, а); второй этап – развитие нагрузки в канатах до усилия в них, равное весу груза Q , причём масса m_{Γ} на протяжении этого этапа находится в состоянии покоя (рис. 1, б); третий этап – совместное движение всех упруго связанных масс динамической системы (рис. 1, в). Рассмотрим каждый из перечисленных этапов и в соответствии с ними составим уравнения движения – математические модели.

1-й этап. Двигатель начинает разгоняться с нуля по ступенчатой или соответствующей механической характеристике в зависимости от схемы управления, применяемой на рассматриваемом механизме. Масса вращающихся частей привода m_{Π} выбирает суммарный зазор Δ_K в канатах и приводе. При этом натяжение в канатах, как и перемещение металлоконструкции u_M , отсутствует. С точки зрения математического описания рассматриваемый этап необходим при задании люфта Δ_K в грузовых канатах, однако поскольку время разгона двигателя без нагрузки доли секунды, то за время выбора зазора Δ_K он успевает разогнаться до номинальной или близкой к ней скорости. Поэтому во многих работах [1] первый этап не берут во внимание и в большинстве случаев при составлении уравнений движения не учитывают. В лучшем случае рассматриваемый этап служит точкой отсчёта для формирования начальных условий последующего этапа движения.

2-й этап. Начинается когда все зазоры в приводе и грузовых канатах Δ_K выбраны. Если к началу нагружения грузовых канатов двигатель успел разогнаться до номинальной скорости, то начальными условиями будут:

$$t = 0; y_{\Pi 2} = 0; y_{M2} = 0; \dot{y}_{\Pi 2} = \vartheta_{H2}; \dot{y}_{M2} = 0.$$

Этот случай подъёма сопровождается наибольшими динамическими нагрузками на металлоконструкцию и канаты. Указанный случай на практике довольно распространён, так как время разгона двигателя без нагрузки очень мало.

Описывается этот этап следующими уравнениями движения, составленными по принципу Д'Аламбера:

$$\begin{aligned} m_{\Pi} \cdot \ddot{y}_{\Pi 2} + P_{K2} - P_{D2}^q &= 0; \\ m_M \cdot \ddot{y}_{M2} - P_{K2} + P_{M2} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

В уравнениях (1):

P_{K2} – усилие в канате на втором этапе движения, Н:

$$P_{K2} = c_K(y_{\Pi 2} - y_{M2}) - k_d(\dot{y}_{\Pi 2} - \dot{y}_{M2}); \quad (2)$$

P_{M2} – усилие в металлоконструкции на втором этапе движения, Н:

$$P_{M2} = c_M \cdot y_{M2} - k_D \cdot \dot{y}_{M2}; \quad (3)$$

P_{D2}^q – приведенная к канатам сила двигателя на втором этапе движения при работе на q -ой механической характеристике, Н (более подробно [8]).

$$P_{D2}^q = \frac{K_q(\vartheta_0 - \dot{y}_{\Pi 2})}{B_q + (\vartheta_0 - \dot{y}_{\Pi 2})^2}. \quad (4)$$

В формуле (4):

$$\begin{aligned} K_q &= \frac{2 \cdot M_K \cdot S_{Kq} \cdot \vartheta_0 \cdot u_M}{r_B} = const; \\ B_q &= S_{Kq}^2 \cdot \vartheta_0^2 = const, \end{aligned}$$

где $M_K = \lambda \cdot M_H$ – критический момент электродвигателя, Н·м λ – коэффициент кратковременной перегрузки электродвигателя; $S_{Kq} = S_H \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$ – критическое скольжение при работе двигателя на q -ой механической характеристике; $S_H = (n_0 - n_{ДВ})/n_0$ – номинальное скольжение двигателя; $\vartheta_0 = \vartheta_{\Gamma} \cdot n_0/n_{ДВ}$ – скорость двигателя, соответствующая синхронной частоте вращения ротора, м/с.

Заканчивается второй этап при выполнении условия:

$$P_{K2} = c_K(y_{\Pi 2} - y_{M2}) - k_d(\dot{y}_{\Pi 2} - \dot{y}_{M2}) = Q. \quad (5)$$

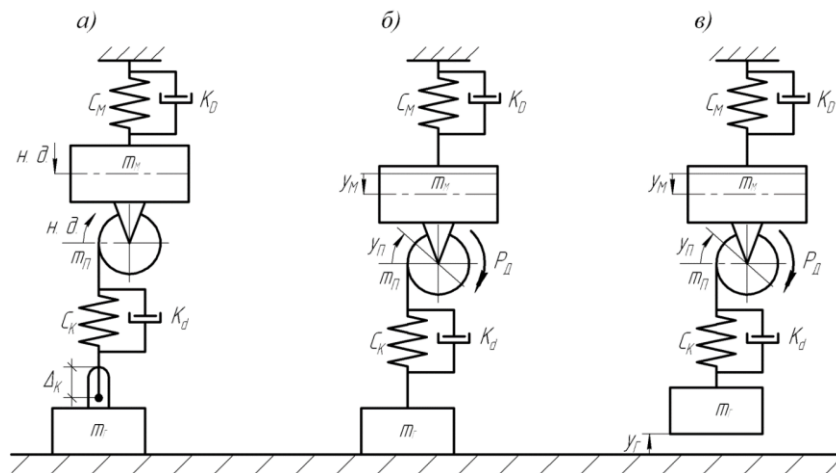


Рис. 1. Трехмассовая двухсвязная модель мостового крана:

a – первый этап движения; *б* – второй этап движения; *в* – третий этап движения

3-й этап. В момент отрыва груза от опоры (жесткого основания) начинается третий этап движения, который сопровождается максимальными динамическими нагрузками.

Начальными условиями третьего этапа движения являются конечные условия второго, а начальное перемещение груза принимается равным нулю, т.е. $y_{Г3} = 0$. Этот этап описывается следующими уравнениями движения:

$$\begin{aligned} m_{\Pi} \cdot y_{\Pi 3} + P_{K3} - P_{Д3} &= 0; \\ m_{\text{М}} \cdot y_{\text{М}3} - P_{K3} + P_{\text{М}3} &= 0; \\ m_{\Gamma} \cdot y_{\Gamma 3} - P_{K3} + m_{\Gamma} \cdot g &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

В уравнениях (6):

P_{K3} – усилие в канате на третьем этапе движения, Н:

$$P_{K3} = c_K \cdot (y_{\Pi 3} - y_{\text{М}3} - y_{\Gamma 3}) - k_d \cdot (\dot{y}_{\Pi 3} - \dot{y}_{\text{М}3} - \dot{y}_{\Gamma 3}); \quad (7)$$

$P_{\text{М}3}$ – усилие в металлоконструкции на третьем этапе движения, Н:

$$P_{\text{М}3} = c_M \cdot y_{\text{М}3} - k_D \cdot \dot{y}_{\text{М}3}; \quad (8)$$

$P_{Д3}^q$ – приведенная к канатам сила двигателя на третьем этапе движения при

работе на q -ой механической характеристике, Н (более подробно см. [8]).

$$P_{Д3}^q = \frac{K_q(\theta_0 - \dot{y}_{\Pi 3})}{B_q + (\theta_0 - \dot{y}_{\Pi 3})^2}. \quad (9)$$

Ниже приведены результаты исследования процесса подъема груза грейферным мостовым краном, кратковременный подъем груженого грейфера одними замыкающими канатами. Графики изменения параметров переходных процессов, представленные на рис.3, были получены численным интегрированием математических моделей по методу Рунге-Кутты с применением компьютерного математического пакета MathCAD 2001. Изменения нагрузок, перемещений (деформаций) и скоростей основных элементов конструкции крана показаны сплошными линиями соответствующего цвета, а штриховыми линиями – изменения динамических усилий в металлоконструкции и грузовых канатах без учёта их демпфирующих свойств.

На рис. 2, 3 приведены графики изменения параметров переходного процесса при подъёме груза грейферным мостовым краном г/п 10т, пролётом $L=22,5$ м и высотой подъёма $H=14$ м при работе двигателя соответственно на 2-й, 3-й и 5-й (естественной) механических характеристиках. При их анализе видно, что максимальные динамические нагрузки

независимо от того, на какой характеристике работает двигатель, возникают сразу же после отрыва груженого грейфера от земли примерно за время $t=0,1$ с для замыкающих канатов и $t=0,18$ с для металлоконструкции. Причем первые колебания динамических нагрузок настолько велики, что разница времени включения механизма подъема практически не оказывает влияния на величину максимальной динамической нагрузки как на замыкающие канаты, так и на металлоконструкцию. Стоит отметить, что с увеличением продолжительности времени включения подъемной лебедки величина стартовых динамических нагрузок на подъёмные канаты уменьшается, однако в этом случае привод механизма замыкания, как и сами замыкающие канаты, будет дольше находиться в перегруженном состоянии. На этих же графиках видно, как происходит перераспределение нагрузки между замыкающими и подъёмными канатами. При

работе двигателя на 2-й или 3-й механических характеристиках выравнивание натяжений в канатах происходит быстрее, чем при работе на естественной. Также в зависимости от того, на какой характеристике работает двигатель, процесс подъема груза сопровождается различными значениями максимальных динамических нагрузок. Так, при работе на 3-й механической характеристике, по сравнению с работой на естественной, динамические нагрузки в момент отрыва грейфера от земли уменьшаются примерно на 10% для замыкающих канатов и на 14% для металлоконструкции крана, а при работе на 2-й – соответственно на 23% и 28%. Это говорит о важности выбора предпусковой ступени в схеме электрооборудования для уменьшения динамических нагрузок. Численные значения максимальных динамических нагрузок и основных параметров переходных процессов приводятся под графиками на соответствующих рисунках.

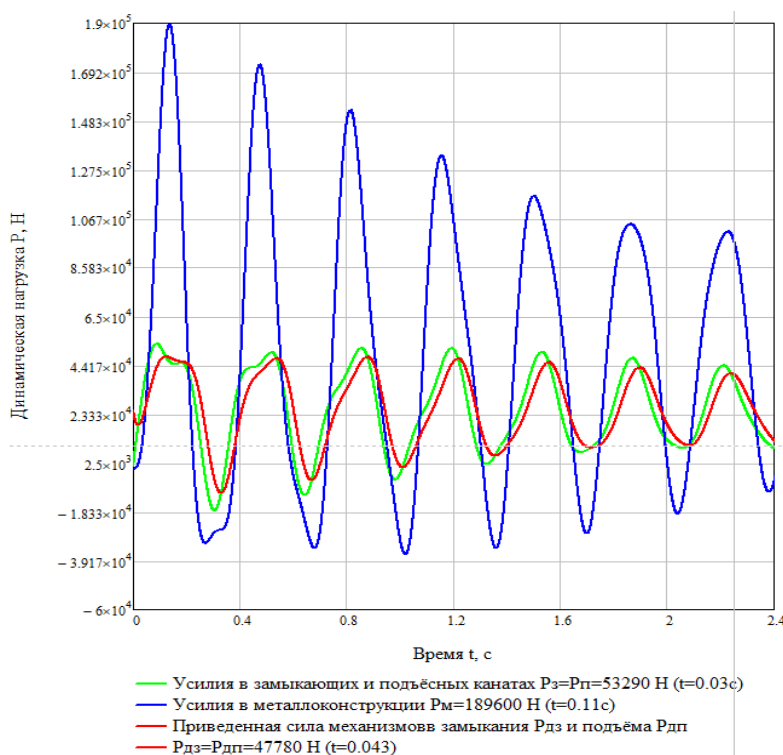


Рис. 2. Графики изменения усилий, действующих на элементы конструкции грейферного мостового крана г/п 10т, пролётом $L=22,5$ м и высотой подъёма $H=14$ м, в случае подъёма гружёного грейфера с подхватом одновременно на замыкающих и подъёмных канатах с начальной скоростью $\vartheta = 0,67$ м/с (работа двигателя на естественной механической характеристике)

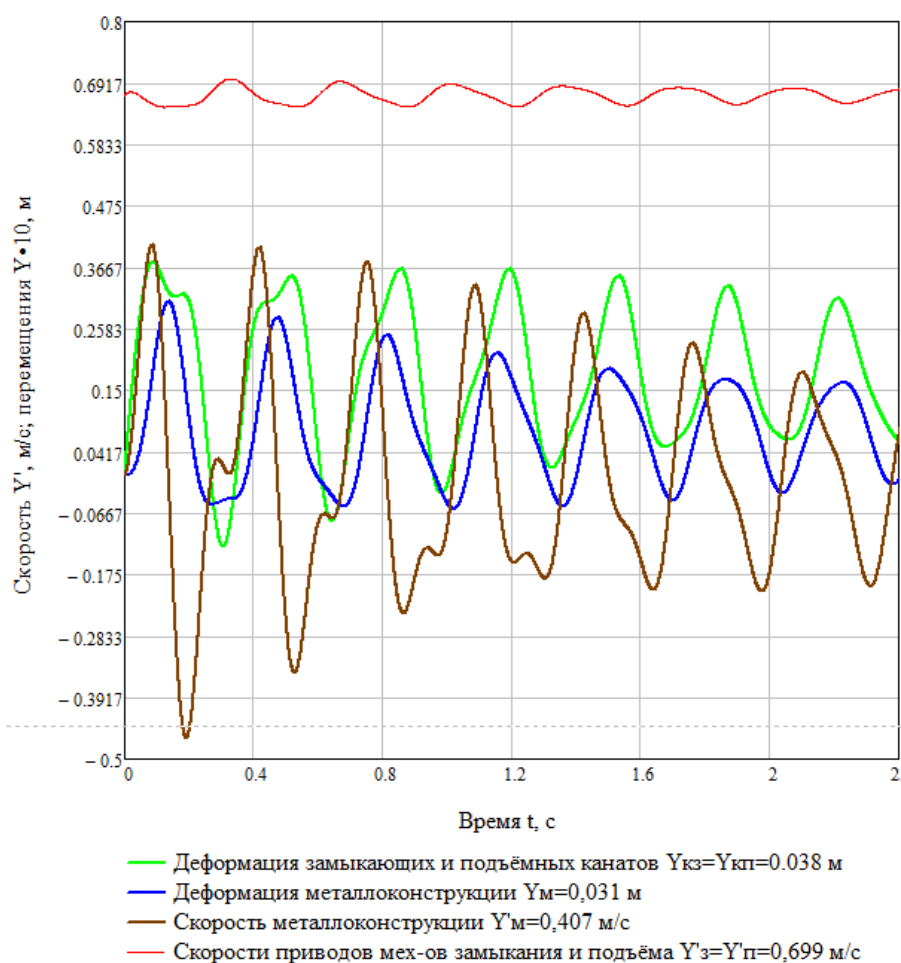


Рис. 3. Графики изменения параметров переходного процесса грейферного мостового крана г/п 10т, пролётом $L=22,5$ м и высотой подъёма $H=14$ м, в случае подъёма гружёного грейфера с подхватом одновременно на замыкающих и подъемных канатах с начальной скоростью $\mathcal{G} = 0,67$ м/с (работа двигателя на естественной механической характеристике)

Результаты и обсуждения. Анализ рассмотренных случаев подъема грейфера показывает, что величина максимальных нагрузок на металлоконструкцию и канаты в значительной мере зависит от скорости привода в момент отрыва груженого грейфера от материала. Это объясняется тем, что приведенная масса привода $m_z = 35663$ кг значительно (в 7,13 раза) больше массы груженого грейфера. Сравнивая значения $P_K^{\max}$, полученные при кратковременном подъеме груженого грейфера замыкающими канатами на 5-ой и 3-ей механических характеристиках, отметим, что для этих случаев отношение начальных скоростей составляет $0,64/0,51=1,26$, отношение максимальных нагрузок на металлоконструкцию $122083/105467=1,16$, на

канаты – $93516/84441=1,11$. Таким образом, кроме скорости привода, заметное влияние на динамическое нагружение металлоконструкции и канатов оказывают и другие параметры системы «привод – металлоконструкция – грейфер», прежде всего жесткость механических характеристик привода.

Оценка степени влияния и взаимовлияния различных параметров крана на величину динамических нагрузок $P_K^{\max}, P_M^{\max}$ выполнена с использованием методов планирования многофакторных экспериментов.

Выводы. 1. В зависимости от принятой технологии работы с грейферным механизмом максимальные нагрузки на замыкающие канаты возникают при кратковременном подъеме грейфера замыкающими канатами, а

максимальные нагрузки на металлоконструкцию – при подъеме грейфера «с подхватом» одновременно замыкающими и подъемными канатами.

2. Механическая характеристика, по которой работает электродвигатель в конце процесса зачерпывания грейфером материала, оказывает решающее влияние на нагружение замыкающих канатов.

3. Максимальных значений нагрузки на замыкающие канаты и металлоконструкцию достигают уже через 0,1-0,2 с после отрыва грейфера от материала, поэтому демпфирование канатов и металлоконструкций практически не сказывается на величине указанных нагрузок.

Список источников

1. Комаров М.С. Динамика грузоподъемных машин, 2-ое изд. – М.: Машиностроение, 1962. – 268 с.
2. Комаров М.С. Динамика механизмов и машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 296 с.
3. Гохберг М.М. Тензометрические испытания крановых мостов в динамических условиях и затухание их колебаний. – Л.: Машгиз, 1955
4. Лобов Н.А. Динамика грузоподъемных кранов. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
5. Румянцев Б.П., Будиков Л.Я. Исследование совместного влияния нескольких факторов на величину динамических нагрузок при подъеме груза с подхватом. Сб. Локомотивостроение, вып.4, изд-во ХГУ, 1972.
6. Тубера Б.А. Грейферные механизмы: 2-е издание, доп. – М.: Машиностроение, 1967 – 426 с.
7. Будиков Л.Я. Многопараметрический анализ динамики грузоподъемных кранов мостового типа. – Луганск: ВУГУ, 2002. – 210 с.
8. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Многопараметрические исследования динамики грузоподъемных кранов» на тему «Расчет оптимальных (рациональных) тормозных характеристик механизмов передвижения мостовых кранов» для студентов направления подготовки 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» (магистерская программа 23.04.02.01 «Подъемно-

транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование») / Сост.: Л.Я. Будиков. – Луганск: Изд-во Луганского национального ун-та, 2017. – 24 с.

9. Конспект лекций по дисциплине «Многопараметрические многофакторные исследования динамики грузоподъемных кранов» / Сост. Л.Я.Будиков – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2014. – 39 с.

References

1. Komarov M. S. Dynamics of lifting machines, 2-oe izd. Moscow: Mashinostroenie; 1962. 268 p.
2. Komarov M. S. Dynamics of mechanisms and machines. Moscow: Mashinostroenie; 1971. 296 p.
3. Gokhberg M. M. Strain gauge tests of crane bridges under dynamic conditions and the damping of their vibrations. Leningrad: Mashgiz; 1955.
4. Lobov N.A. Dynamics of lifting cranes. Moscow: Mashinostroenie; 1987. 160 p.
5. Rumiantsev B.P., Budikov L.Ia. Study of the combined influence of several factors on the magnitude of dynamic loads when lifting a load with a pick-up. Sb. Lokomotivostroenie, vyp.4, izd-vo KhGU\$ 1972.
6. Tubera B.A. Grab mechanisms: 2-e izdanie, dop. Moscow: Mashinostroenie; 1967. 426 p.
7. Budikov L.Ia. Multiparameter analysis of the dynamics of overhead bridge cranes. Lugansk: VUGU\$ 2002. 210 p.
8. Budikov L.Ia. Methodological instructions for practical classes in the discipline “Multiparameter studies of the dynamics of load-lifting cranes” on the topic “Calculation of optimal (rational) braking characteristics of the movement mechanisms of overhead cranes” for students of the training direction 23.04.02 “Ground transport and technological complexes” (magisterskaia programma 23.04.02.01 “Podieemno-transportnye, stroitelnye, dorozhnye mashiny i oborudovanie”). Lugansk: Izd-vo Luganskogo natsionalnogo un-ta; 2017. 24 p.
9. Budikov L.Ia. Lecture notes on the discipline «Multiparametric multifactorial studies of the dynamics of load-lifting cranes». Lugansk: izd-vo VNU im. V. Dalia; 2014. 39 p.

Статья поступила в редакцию 10.06.2024

Информация об авторах

Коструб Владимир Алексеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортная техника» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: vkostrub@mail.ru.

Борисов Денис Петрович, магистрант кафедры «Подъемно-транспортная техника» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: denisborisov0905@mail.ru.

Вербская Людмила Михайловна, ст. преподаватель кафедры «Подъемно-транспортная техника» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: lusikoverbskaya@mail.ru.

Information about the authors

Kostrub Vladimir Alekseyevich, candidate of technical Sciences, Associate Professor of the Department "Lifting and transport equipment", Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: vkostrub@mail.ru.

Borisov Denis Petrovich, master's student of the department of "Lifting and transport equipment", Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: denisborisov0905@mail.ru.

Verbskaya Ludmila Mikhailovna, Art. teacher of the department "Lifting and transport equipment", Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: lusikoverbskaya@mail.ru.

Для цитирования:

Коструб В.А., Борисов Д.П., Вербская Л.М. Исследование динамики подъёма груза мостовым грейферным краном // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 7 (85). – С. 34-40.

For citations:

Kostrub V.A., Borisov D.P., Verbskaya L.M. Study of the dynamics of load lifting with an overhead graphle crane // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 7 (85). – P. 34-40.

УДК 621.86/.87

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕНЗОМЕТРИИ ДЛЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДА СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН

Коструб В. А., Мирошников А. А., Самойлова И. С., Рекиян П. Н.

THE USE OF TENSOMETRY TO IMPROVE THE METHOD OF STATIC TESTING OF LIFTING MACHINES

Kostrub V. A., Miroshnikov A. A., Samoilova I. S., Rekiyan P. N.

Аннотация. Рассмотрены проблемы в области технической диагностики грузоподъемных машин, отработавших нормативный срок, связанные с отсутствием единой методики оценки остаточного ресурса металлических конструкций кранов. Предложены рекомендации по применению методики тензометрии в области усовершенствования статических испытаний грузоподъемных кранов мостового типа.

Ключевые слова: тензометрия, грузоподъемные машины, статические испытания.

Abstract. Problems in the field of technical diagnostics of load-lifting machines that have worked out the standard period are considered, related to the lack of a unified methodology for assessing the residual resource of metal structures of cranes. Recommendations on application of strain gauge technique in the field of improvement of static tests of bridge-type load-lifting structures are proposed.

Key words: strain gauges, lifting machines, static tests.

Введение. Металлоконструкции грузоподъемных машин, отработавших свой нормативный срок, требуют особого контроля. На сегодняшнее время отсутствует единая методика оценки остаточного ресурса. Одной из методик является использование тензометрии при испытаниях машин в реальных условиях эксплуатации, которая дает возможность наглядно регистрировать значения напряженно-деформированного состояния во времени.

Методы исследования на базе электротензометрического оборудования получили широкое распространение в технике, так как позволяют изучить работу огромного спектра машин, механизмов и оборудования в

производственных условиях. Такие методы дают возможность исследовать процессы, протекающие с различной скоростью, организовать мониторинг во времени деформации и напряжения, скорости, ускорения и т.д.

Основная часть. Целью данной статьи является адаптация тензометрического комплекса на базе отечественного аналого-цифрового преобразователя АЦП «Е14-140-М» ООО «Л КАРД» в паре с персональным компьютером, на который установлен программный пакет «Power Graph» [1-3]. Программы, входящие в состав этого пакета, обладают аппаратной независимой архитектурой с настройкой физических

выходов однополюсных или дифференциальных.

Рассмотрим проведение калибровки входных сигналов для преобразования единиц измерения каждого канала. Общие настройки регистрации данных предусматривают выбор произвольного набора каналов, использование

любых частот дискретизации, поддерживаемых устройством, а также использование аппаратной и программной синхронизации [4-6].

Установка тензодатчиков производится по принципу мостовой схемы Уитстона (рис.1).

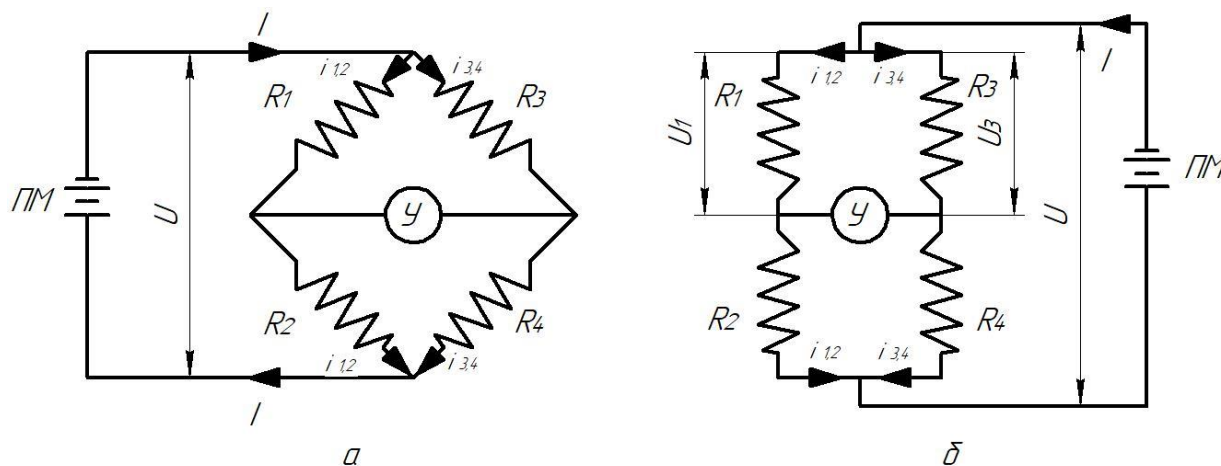


Рис. 1. Электрическая схема моста Уитстона

Данная схема позволяет преобразовывать изменения электрического сопротивления тензодатчика в электрический ток или напряжение [7, 8].

Допустим, что начальное сопротивление датчика $R = 100$ Ом, коэффициент тензочувствительности $s = 2$ и $\xi = 5 \cdot 10^{-7}$, тогда $\Delta R = s \cdot \xi R = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-7} \cdot 100 = 1 \cdot 10^{-4}$ Ом. Следовательно, для стали с модулем упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа и напряжением $U = 0,1$ МПа абсолютное изменение сопротивления датчика с начальным сопротивлением $R = 100$ Ом составит $2 \cdot 10^{-4}$ Ом. Такое небольшое изменение сопротивления порождает ток малой силы, для измерения которого требуется качественное оборудование. С помощью современного измерительного комплекса на базе АЦП это не составит большого труда.

Допустим, что R_1, R_2, R_3, R_4 – сопротивление плеч моста в омах, R_u – сопротивление измерительной диагонали, U – напряжение питания моста в вольтах, ПМ – (питание моста) источник электрического тока, Y – усилитель. Если рассмотреть данную схему в другом виде (рис.1,б), то видно, что плечи моста параллельны, электрическое напряжение в таком случае одинаково, а токи определяются по закону Ома (1):

$$i_{1,2} = \frac{U}{R + R_2} a, \text{ и } i_{3,4} = \frac{U}{R + R_4} a. \quad (1)$$

Ток в измерительной диагонали можно представить в виде (2):

$$I_U = U \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_U (R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1 R_3 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_1 + R_2)}. \quad (2)$$

Наглядно видно, что сила тока в измерительной диагонали моста зависит от

величины сопротивления плеч, сопротивления измерительной диагонали и напряжения

питания моста. Максимальное значение тока в измерительной диагонали будет достигнуто при значении R_U , которое удовлетворяет условию (3).

$$R_U = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_3} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}. \quad (3)$$

При использовании тензометрии это условие должно выполняться. Подставим в уравнение тока измерительной диагонали моста (2) значение R_U (3), тогда:

$$I_U = \frac{U}{2} \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_1 R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_1 + R_2)}. \quad (4)$$

Рассмотрим величину тока в измерительной диагонали при измерении деформаций датчика мостовой схемы. В нашем случае: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ и $R' = R''$. Пусть датчик включен в первое плечо и имеет начальное сопротивление R_1 . После деформации сопротивление датчика изменится на величину ΔR , тогда ток в измерительной диагонали (5) равен:

$$I_U = \frac{U}{8R} \cdot \frac{\Delta R}{R}.$$

При этом, так как

$$\frac{U}{2R} = i_\phi.$$

то:

$$I_U = \frac{1}{4} i_\phi \frac{\Delta R}{R}.$$

где i_ϕ - ток в датчике.

При $R' = R''$ получаем:

$$k = \frac{2}{1 + \frac{R''}{R'}}.$$

Сопротивление R'' может быть больше и меньше сопротивления R' , принимаемого за параметр.

$R' < R''$ – ведет к снижению коэффициента k и, следовательно к уменьшению тока в измерительной диагонали моста, k – характеризует чувствительность моста. График изменения этого коэффициента в функции отношения $\frac{R''}{R'}$ показан на рис. 2.

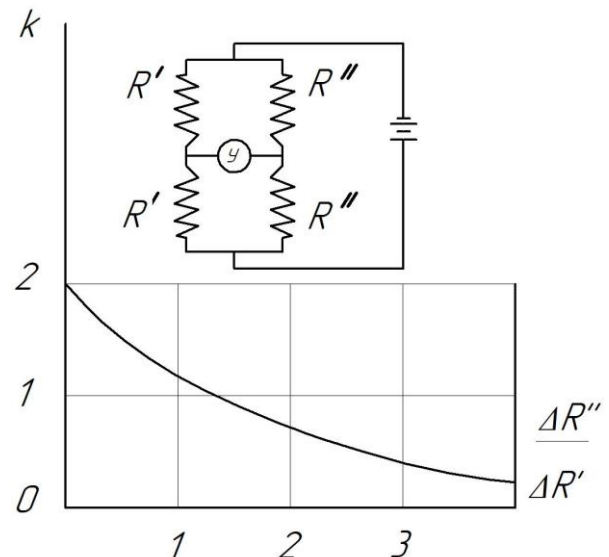


Рис. 2. Диаграмма изменения коэффициента чувствительности моста

Следует отметить, что R_3 и R_4 – сопротивления плеч, обозначенные через R'' , следует делать меньше, чем R' . Для R'' - нижний предел ограничивается возможностью построения измерительного комплекса, верхний предел не должен быть больше R' . В конечном итоге соотношения плеч должны удовлетворять условию: $R'' \leq R'$, коэффициент чувствительности моста $k \geq 1$.

В случае, если в измерительную диагональ моста включается прибор с бесконечно большим сопротивлением, приведённые уравнения не будут справедливы для расчета. Тогда о величине неуровновешенности моста судят по разности потенциалов на вершинах измерительной диагонали.

Если сопротивление R_1 (см. рис.1) получит приращение ΔR , то ток в плечах R_1 и R_2 будет:

$$i_{1,2} = \frac{U}{R_1 + R_2 + \Delta R}. \quad (5)$$

Падение напряжения на сопротивлении R_1 (6):

$$U_1 = \frac{U(R_1 + \Delta R)}{R_1 + R_2 + \Delta R}. \quad (6)$$

Падение напряжения на сопротивлении R_3 (7):

$$U_3 = \frac{UR_3}{R_3 + R_4}. \quad (7)$$

Разность потенциалов на измерительной диагонали (8):

$$\Delta U = U_3 - U_1 = -\frac{UR_3}{R_3 + R_4} + \frac{U(R_1 + \Delta R)}{R_1 + R_2 + \Delta R}. \quad (8)$$

В нашем случае $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$, получаем (9):

$$\Delta U = U \frac{\frac{\Delta R}{R}}{4 + 2 \frac{\Delta R}{R}} \quad \Delta U \approx \frac{1}{4} U \frac{\Delta R}{R}. \quad (9)$$

Из условия равновесия моста $R_1 R_4 - R_2 R_3 = 0$ видно, что ток в измерительной диагонали и напряжение увеличивается в два раза, если сопротивление R_1 возрастает, а сопротивление R_2 на столько же уменьшится. Если увеличится сопротивление R_4 , а R_3 на столько же уменьшится, то ток в измерительной диагонали моста увеличится в четыре раза сравнительно с тем случаем, когда изменится сопротивление только у одного плеча.

Исходя из выше сказанного запишем формулу в виде (10):

$$I_U = \frac{1}{4} i_0 \frac{\Delta R}{R} \quad \text{и} \quad \Delta U \approx \frac{1}{4} U \frac{\Delta R}{R}$$

или
$$I_U = k c i_0 \frac{\Delta R}{R} \quad \text{и} \quad \Delta U = k c U \frac{\Delta R}{R}. \quad (10)$$

Коэффициент c в обеих формулах при изменении одного, двух и четырех плеч

принимает значения: $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1 . Тогда отношение токов и напряжений в измерительной диагонали моста в зависимости от количества работающих плеч будет иметь вид (11):

$$I_{U1} : I_{U2} : I_{U4} = \frac{1}{4} : \frac{1}{2} : 1 = \Delta U_1 : \Delta U_2 : \Delta U_4. \quad (11)$$

Таким образом, ток или напряжение в измерительной диагонали моста можно увеличить за счет количества активных плеч 2 или 4 раза. Это нужно для того, что бы регистрировать напряжение малой величины.

Характеристика мостовой схемы. В характеристику мостовой схемы относятся такие параметры, как сопротивление плеч R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , количество активных плеч, сопротивление которых изменяется вместе с изменением измеряемой величины. Фактор чувствительности моста c зависит от количества активных плеч. Чувствительность моста по току (12):

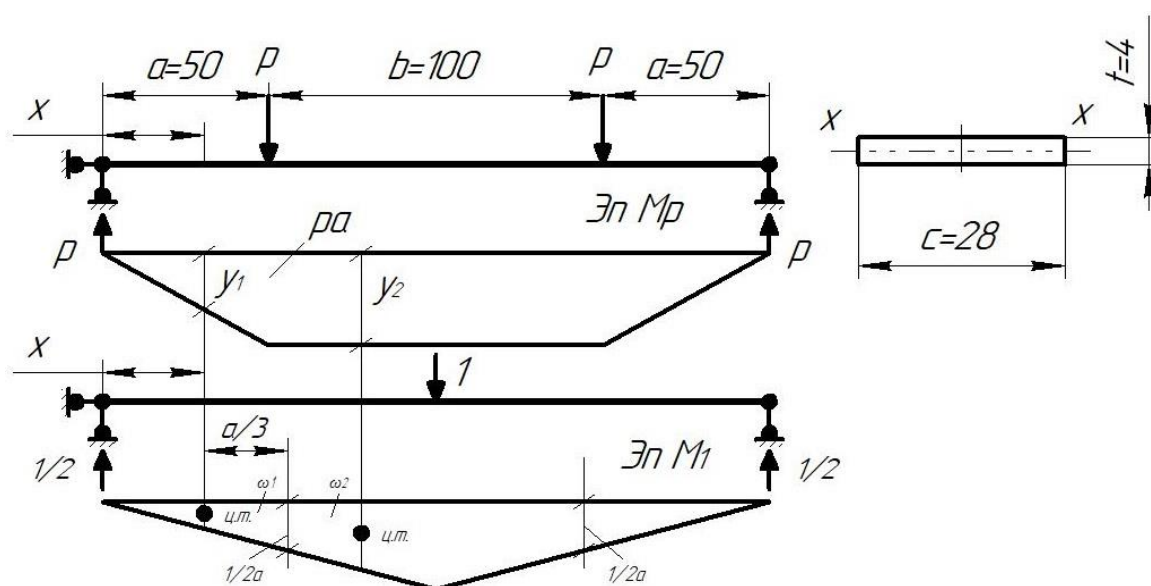
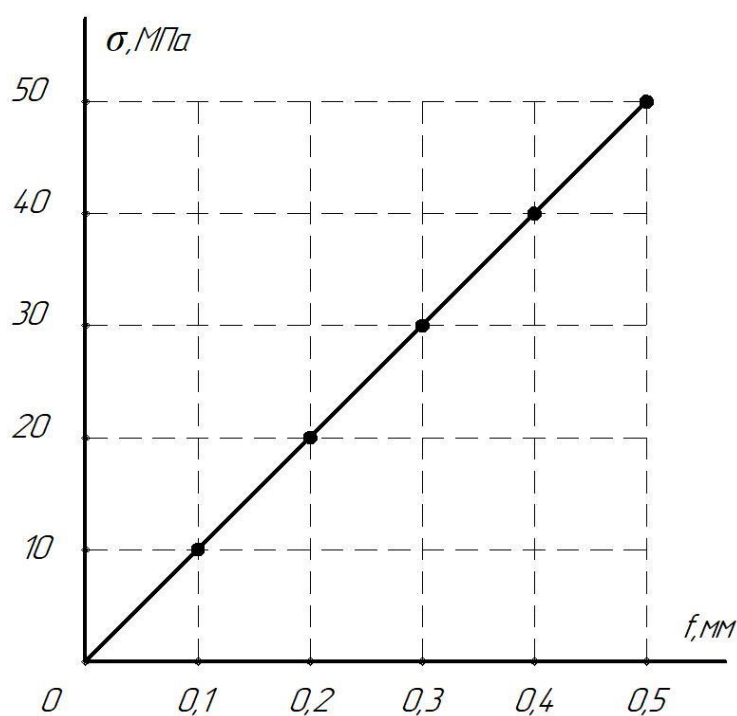
$$\frac{I_U}{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)} = k c i_0. \quad (12)$$

Чувствительность моста по напряжению (13):

$$\frac{\Delta U}{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)} = k c U. \quad (13)$$

Рассмотрим тарировочную балку (рис. 3).

На базе данной балки можно вычислить зависимость между прогибом под нагрузкой и изменением силы тока в измерительной диагонали тензодатчиков. Построенный график зависимости $\sigma = F(f)$ (рис. 4) позволяет наглядно с минимальной погрешностью это сделать. Главным условием данной зависимости изменения силы тока в тарировочной балке и в исследуемом образце является наклейка тензодатчиков из одной партии с одним и тем же сопротивлением, в данном случае $R = 100 \text{ Ом}$.

Рис. 3. Эпюры тарировочной балки эп. M_p -грузовая, эп. M_1 - единичнаяРис. 4. Зависимость $\sigma = F(f)$ для тарировочной балки

Момент инерции балки:

$$I_x = \frac{c \cdot t^3}{12}.$$

Напряжения можно вычислить по формуле:

$$\sigma = \frac{M}{W_x} = \frac{P \cdot a}{I_x} = \frac{P \cdot a \cdot \frac{t}{2}}{I_x}.$$

Для этого можно воспользоваться интегралом Мора:

$$f = 2 \int_0^{l/2} \frac{M_p \cdot M_1 \cdot dx}{EI_x} = \frac{2}{EI_x} (\omega_1 \cdot y_1 + \omega_2 \cdot y_2)$$

или правилом Верещагина при перемножении эпюр:

$$\begin{aligned}
f &= 2 \left(\frac{\omega_1 \cdot y_1}{EI_x} + \frac{\omega_2 \cdot y_2}{EI_x} \right) = \frac{2}{EI_x} (\omega_1 \cdot y_1 + \omega_2 \cdot y_2) = \\
&= \frac{2}{EI_x} \left(\frac{1}{2} \cdot a \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot \frac{2}{3} \cdot P \cdot a + \frac{\frac{a}{2} + \frac{l}{4}}{2} \cdot \frac{b}{2} \cdot P \cdot a \right) = \frac{2}{EI_x} \cdot \left(\frac{P \cdot a^3}{6} + \frac{a + \frac{l}{2}}{4} \cdot \frac{b}{2} \cdot P \cdot a \right) = \\
&= \frac{1}{EI} \cdot \left(\frac{P \cdot a^3}{3} + \frac{2 \cdot a + l}{4} \cdot \frac{b}{2} \cdot P \cdot a \right) = \frac{1}{EI_x} \left(\frac{P \cdot a^3}{3} + \frac{2 \cdot a}{4} \cdot \frac{P \cdot a \cdot b}{2} + \frac{b \cdot l \cdot P \cdot a}{8} \right) = \\
&= \frac{1}{EI_x} \left(\frac{P \cdot a^3}{3} + \frac{P \cdot a^2 \cdot b}{4} + \frac{P \cdot a \cdot b \cdot l}{8} \right) = \frac{P \cdot a}{EI_x} \left(\frac{a^2}{3} + \frac{a \cdot b}{4} + \frac{b \cdot l}{8} \right) = \\
&= \frac{M}{EI_x} \left(\frac{a^2}{3} + \frac{a \cdot b}{4} + \frac{b \cdot l}{8} \right) = \frac{M}{EI_x} \cdot A = \frac{\sigma \cdot W_x}{EI_x} \cdot A = \frac{\sigma \cdot I_x}{\frac{t}{2} \cdot EI_x} \cdot A = \frac{2 \cdot \sigma}{t \cdot E} \cdot A.
\end{aligned}$$

В конечном результате получаем коэффициент зависимости перемещения прогиба балки от напряжения (на базе чего построен график рис.4.):

$$\sigma = \frac{f \cdot E \cdot t}{2 \cdot A} = f \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 4}{2 \cdot 4583} = 91,6 f.$$

При измерении величин методами тензометрирования в процессе наклейки датчиков по мостовой схеме следует учитывать важные свойства. Равные по величине и разные по знаку изменения сопротивлений в смежных плечах удваивают неуравновешенность моста, а следовательно, и ток в измерительной диагонали (чувствительность моста $c = 2$). Если четные номера сопротивления плеч получают приращение одного знака, а нечетные - аналогичные по величине приращения с противоположным знаком, то баланс моста нарушается увеличением в четыре раза (чувствительность $c = 4$). Можно производить сложение и вычитание приращений сопротивлений плеч моста, так как сопротивления в одном плече складываются алгебраически.

Предлагаемая методика была использована для исследования элементов металлоконструкции мостового крана, поврежденных коррозией.

Рассмотрим образец металла, с искусственным дефектом «пропил» в среднем сечении.



Рис. 5. Поперечное сечение исследуемого образца

Сопротивление каждого датчика равно 100 Ом, общее сопротивление полумоста составляет 200 Ом. В качестве проводов для соединения датчиков с диэлектрической подложкой применяются гибкие хорошо изолированные провода, позволяющие исключить утечку тока на землю.

Процесс нагрузки исследуемого образца выполнен с помощью лабораторной установки

(рис.6). Перед началом измерения проводится тарировка датчиков и выполняется калибровка баланса моста. После выставления баланса в нулевую точку можно начинать нагружение металлоконструкции с помощью динамометра. По паспорту динамометра с помощью стрелочного индикатора задается требуемая

сила нагрузки (0,5 т). Изменения сопротивления тензодатчиков регистрирует программа Power Graph которая выполняет функцию осциллографа. Результаты записи осциллограммы нагружения образца показаны на рис. 7.

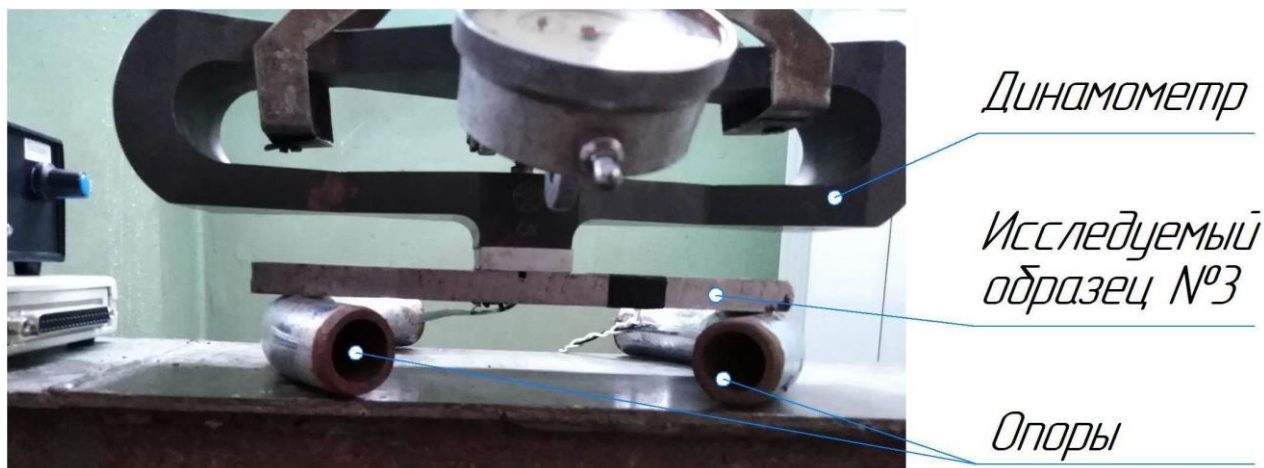


Рис.6. Общий вид лабораторной установки с исследуемым образцом

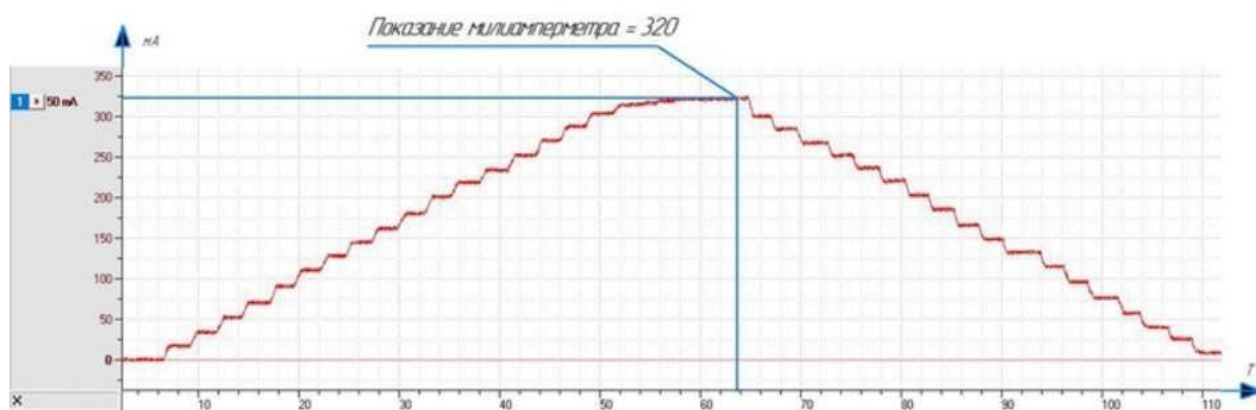


Рис.7. Результаты записи осциллограммы нагружения и разгружения образца

Полученные значения силы тока в максимальной точке равны – 320 мА. Используя ранее записанные данные измерения на тарированной балке, переводим полученные

результаты в напряжение и получаем – 171 МПа.

Рассмотрим расчетную 3D модель образца (рис. 8). Расчет базируется на методе конечных элементов [9].

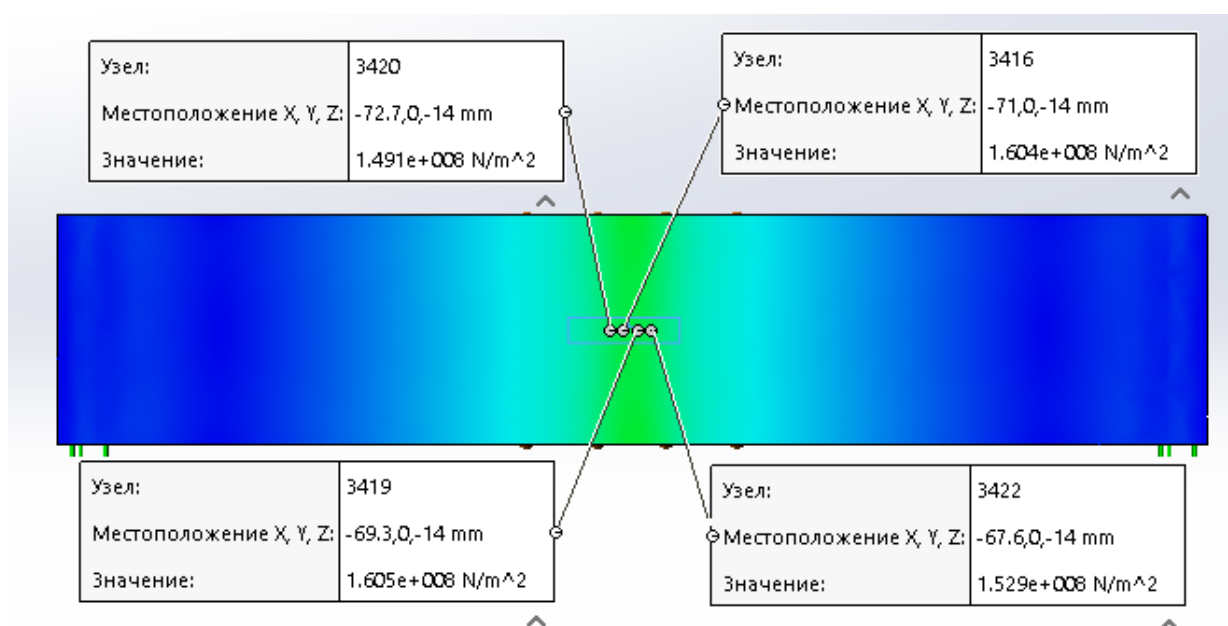


Рис. 8. Эпюра полей распределения напряженно-деформированного состояния

Максимальное расчетное напряжение равно 160 МПа. Анализ результатов показывает, что расчетная модель образца имеет запас прочности в 28% от предела текучести стали 3, равного 220 МПа. Экспериментальная оценка напряженно-деформированного состояния с помощью тензометрического метода, как отмечено выше, составляет 171 МПа и запас прочности, равный 22%.

Таким образом, результаты, полученные расчетным методом и методом тензометрирования, коррелируются с точностью 7%, что позволяет сделать заключение о возможности практического применения предлагаемой методики для оценки напряженно-деформированного состояния металлоконструкций подъемно-транспортных и строительно-дорожных машин.

Выводы. Применение тензометрического комплекса на базе отечественного аналого-цифрового преобразователя АЦП позволяет измерять напряженно-деформированное состояние металлоконструкций подъемно-транспортных, строительно-дорожных машинах при динамических и статических испытаниях в полевых и лабораторных условиях.

Список источников

1. Гарманов А. В. Подключение измерительных приборов / Гарманов А. В. – Москва; 2003. – 41 с.
2. Измайлов Д.Ю. Виртуальная измерительная лаборатория PowerGraph / Измайлов Д. Ю. // промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. – 2007. – №3. – С. 42-47.
3. Измайлов Д.Ю. Виртуальная измерительная лаборатория PowerGraph / Измайлов Д.Ю. // промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. – 2007. – №3. – С. 42-47.
4. PowerGraph. Руководство пользователя. URL: <http://www.powergraph.ru>
5. Парахуда Р. Н. Автоматизация измерений и контроля: курс лекций / Р. Н. Парахуда, В. И. Шевцов – СПб. : СЗТУ, 2002. – 75 с.
6. Путилин А. Б. Вычислительная техника и программирование в измерительных информационных системах: учебное пособие для вузов / А. Б. Путилин. – М. : Дрофа, 2006. – 447 с.
7. Девин Л.Н. Применение пакета PowerGraph для исследования процесса резания / Девин Л.Н., Сулима А.Г. // Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. – 2008. – № 3. – С. 24-26.

8. Шушкевич В.А. Основы электротензометрии / В.А. Шушкевич. – Минск: Высшая школа, 1975. – 352 с.

9. Коструб В.А., Антипов И.В., Мирошников А.А. «Исследование методом конечных элементов несущих металлоконструкций мостовых кранов» // Журнал Вестник ЛНУ им. В. Даля.- 2020.- №7. – С. 106-114.

References

1. Garmanov A.V. Connecting Measuring Instruments / Garmanov A.V. – Moscow; 2003. – 41 p.

2. Izmailov D.Y. Virtual Measuring Laboratory PowerGraph / Izmailov D.Y. // Industrial Measurements, Control, Automation, Diagnostics. – 2007. – №3. – P. 42-47.

3. Izmailov D.Y. Virtual Measuring Laboratory PowerGraph / Izmailov D.Y. // Industrial Measurements, Control, Automation, Diagnostics. – 2007. – №3. – P. 42-47.

4. PowerGraph. User's Guide. URL: <http://www.powergraph.ru>

5. Parakhuda R.N. Automation of Measurements and Control: Lecture Course / R.N. Parakhuda, V.I. Shevtsov – St. Petersburg. : SZTU, 2002. – 75 p.

6. Putilin A. B. Computer engineering and programming in measuring information systems: a textbook for universities / A. B. Putilin. – M. : Drofa, 2006. – 447 p.

7. Devin L. N. Application of the PowerGraph package for studying the cutting process / Devin L. N., Sulima A. G. // Industrial measurements, control, automation, diagnostics. – 2008. – No. 3. – P. 24-26.

8. Shushkevich V. A. Fundamentals of electrical strain gauge measurement / V. A. Shushkevich. – Minsk: Higher School, 1975. – 352 p.

9. Kostrub V. A., Antipov I. V., Miroshnikov A. A. "Study of load-bearing metal structures of overhead cranes using the finite element method" // Journal of the Vestnik of LNU named after V. Dahl. - 2020. - No. 7. - P. 106-114.

Статья поступила в редакцию 10.06.2024

Информация об авторах

Коструб Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры подъемно-транспортной техники Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: ptt_lugu@mail.ru

Мирошников Алексей Александрович, старший преподаватель кафедры подъемно-транспортной техники Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: mirr_001@mail.ru

Самойлова Ирина Сергеевна, старший преподаватель кафедры подъемно-транспортной техники Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Рекиян Павел Николаевич, старший преподаватель кафедры подъемно-транспортной техники Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Information about the authors

Kostrub Vladimir Alekseevich, candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department «Handling equipment» Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: ptt_lugu@mail.ru

Miroshnikov Alexey Aleksandrovich, senior lecturer of the department «Handling equipment» Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: mirr_001@mail.ru

Samoilova Irina Sergeevna, senior lecturer of the department «Handling equipment» Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: ptt_lugu@mail.ru

Rekiyan Pavel Nikolaevich, senior lecturer of the department «Handling equipment» Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

Для цитирования:

Коструб В.А., Мирошников А.А., Самойлова И.С., Рекиян П.Н. Применение тензометрии для усовершенствования метода статических испытаний грузоподъемных машин // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 7 (85). – С. 41-50.

For citations:

Kostrub V.A., Miroshnikov A.A., Samoilova I.S., Rekiyan P.N. The use of tensometry to improve the method of static testing of lifting machines // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 7 (85). – P. 41-50.

УДК 656.073.9

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК**Ленич С. В.****ON THE EFFECTIVENESS OF ROAD TERMINAL TRANSPORTATION****Lenich S. V.**

Аннотация. Целью настоящего исследования является решение актуальной проблемы по снижению затрат и негативного влияния на окружающую среду при выполнении грузовых автомобильных перевозок. В данной работе решается задача по установлению характера снижения затрат и выбросов CO_2 в зависимости от расстояния между автотранспортными терминалами. Методами исследования являются определение затрат на доставку груза и выбросов загрязняющих веществ в зависимости от расстояния перевозки и грузоподъёмности грузового автомобиля. Получены зависимости снижения затрат и выбросов CO_2 от расстояния между автотранспортными терминалами в сравнении с прямыми перевозками в транспортной сети. Показано, что автомобильные терминальные технологии как инструмент «зелёной» логистики позволяют одновременно повысить как экономическую, так и экологическую эффективность перевозок. Подробно рассмотрены основные этапы терминальной технологии по подвозу-развозу груза, терминальной грузопереработки и магистральной перевозки груза автопоездами. Применение автомобильных терминальных перевозок по сравнению с прямыми перевозками между грузоотправителями и грузополучателями позволяет уменьшить затраты на доставку товаров при расстояниях между терминалами свыше 500 км и снизить негативное влияние на окружающую среду, выбросы CO_2 сокращаются до двух раз.

Ключевые слова: «зелёная» логистика, терминальная технология, автомобильные перевозки, грузовой автомобиль, доставка товаров, оптимизация на транспорте.

Abstract. The purpose of this study is to solve the urgent problem of reducing costs and negative impact on the environment when performing truck-mobile transportation. This paper solves the problem of determining the nature of cost reduction and CO_2 emissions depending on the distance between the transport terminals. Research methods – determination of the cost of cargo delivery and emissions of pollutants depending on the distance of transportation and the load capacity of the truck. The novelty of the work – the dependences of cost reduction and CO_2 emissions on the distance between the transport terminals in comparison with direct transportation in the transport network are obtained. The results of the study – it is shown that automotive terminal technologies as a tool of "green" logistics can simultaneously improve both the economic and environmental efficiency of transportation. The main stages of terminal technology for the delivery and delivery of cargo, terminal cargo handling and trunk cargo transportation by road trains are considered in detail. Conclusions – the use of automobile terminal transportation in comparison with direct transportation between shippers and consignees makes it possible to reduce the cost of delivering goods at distances between terminals over 500 km and reduce the negative impact on the environment, CO_2 emissions are reduced by up to two times.

Key words: "green" logistics, terminal technology, road transport, truck, delivery of goods, optimization in transport.

Введение. Автомобильные грузовые перевозки жизненно важны для функционирования экономики и цепей поставок. Они продолжают оставаться предпочтительным вариантом перевозки и по-прежнему занимают основную долю в распределении видов транспорта в мире [1]. К преимуществам автомобильного транспорта с точки зрения логистики относится быстрая доставка, гибкость и приспособляемость к требованиям клиентов.

Однако автомобильный транспорт является одним из основных источников выбросов диоксида углерода (углекислого газа) CO_2 от транспорта, которые негативно воздействуют на людей и окружающую среду и влияют на изменение климата [2]. По оценкам [3], грузовой автомобильный транспорт является крупнейшим источником таких выбросов, как CO_2 (до 50 г/т·км), SO_x (до 0,31 г/т·км), NO_x (до 0,00006 г/т·км) и твёрдых частиц (до 0,005 г/т·км). Кроме того, грузовые автомобильные перевозки на дальних расстояниях являются наиболее дорогими в расчёте на единицу транспортной работы, уступая по этому показателю только воздушному транспорту. Поэтому грузовладельцы и автоперевозчики ищут транспортные решения, позволяющие получить оптимальные экономические и экологические результаты (минимальные суммарные затраты при сниженных выбросах и загрязнении окружающей среды).

В последние десятилетия активно развивается такое направление, как «зелёная» логистика, основной задачей которой является снижение негативного воздействия логистических услуг на окружающую среду. «Зеленая» логистика применяет экологические технологии и инструментарий, позволяющие управлять воздействием на окружающую среду во всех звеньях цепей поставок [4]. Традиционно при планировании и оптимизации грузовых автомобильных перевозок экономическая и экологическая цели вступают в противоречие между собой. Одним из вариантов решения этой проблемы с позиций

«зелёной» логистики является внедрение автомобильных терминальных перевозок.

Целью работы является исследование по снижению затрат на доставку и выбросов диоксида углерода CO_2 при выполнении автомобильных грузовых перевозок путём применения терминальной технологии.

Описание автомобильной терминальной технологии. Традиционно автомобильный транспорт работает по схеме «от двери до двери», что считается одним из его преимуществ. Однако для получения эффекта масштаба и повышения привлекательности автомобильных грузовых перевозок были внедрены (одномодальные) терминальные технологии [5]. Создание терминалов также было вызвано необходимостью подгруппировки (консолидации) мелких партий отправок. С течением времени автотранспортные терминалы превратились в multifunctional логистические объекты, играющие важную роль в транспортной логистике [6-7].

Пользователями услуг терминалов являются не только грузоотправители и грузополучатели, но также транспортные агенты и брокеры, операторы перевозки, экспедиторы и другие участники транспортно-логистических цепей. На терминалах осуществляется взаимодействие между транспортно-логистическими посредниками, выполняются услуги по погрузке и выгрузке транспортных средств, по консолидации и кратковременному хранению грузов, ремонту транспортного оборудования и т.д.

Применение терминальных технологий перевозок на автомобильном транспорте реализуется в транспортных схемах «узел-спица» (рис. 1). При этом основная (магистральная) перевозка грузов осуществляется между автотранспортными терминалами (хабами), обслуживающими определённый район и клиентуру. В результате уменьшается суммарный объём транспортной работы, что ведёт к снижению вредных выбросов и негативного воздействия на окружающую среду.

При этом процесс доставки груза разбивается на следующие этапы:

1. Подвоз груза от грузоотправителей на терминал опарвления, при этом используются грузовые автомобили малой и средней грузоподъёмности. В процессе доставки груза на терминал используются как маятниковые, так и кольцевые (сборочные) маршруты. На этом этапе применяются точные и приближённые методы локальной оптимизации перевозок.

2. Выполнение грузовых и коммерческих операций (терминальная грузопереработка) на терминале отправления. Прежде всего на терминале осуществляются услуги, связанные с перевозкой: приём грузов от грузоотправителей и их консолидация, формирование транспортных пакетов, оформление транспортных документов, краткосрочное хранение грузов, обслуживание и мелкий ремонт транспортного оборудования и т.д. В последнее время на автотранспортных терминалах предоставляются услуги, связанные с процессом товародвижения (услуги, создающие добавленную стоимость), такие как: маркировка, упаковка и сортировка товаров, технологические операции с товарами и т.д.

3. Магистральная перевозка груза между терминалом отправления и терминалом назначения, при этом используются грузовые автомобили максимальной грузоподъёмности. Повышение экономической эффективности магистральных автомобильных перевозок может быть достигнуто использованием крупнотоннажных автопоездов грузоподъёмностью до 60 т [8]. Помимо снижения загруженности автодорог, достижение эффекта масштаба позволяет снизить удельные затраты на единицу транспортной работы, количество потребляемого топлива и, соответственно, вредные выбросы. Примером эксплуатации таких автопоездов является технология перевозки EuroComby, существующая в двух вариантах – для перевозки объёмных или весовых грузов. Увеличение коэффициента

использования грузоподъёмности автопоездов может быть достигнуто путём оснащения полуприцепа механизмом второго яруса с подъёмной крышей. При этом вместимость полуприцепа увеличивается вдвое – до 82 паллет.

4. Терминальная грузопереработка на терминале назначения. На этом этапе выполняются операции, связанные с подготовкой товара для грузополучателей: разукрупнение грузов (сортировка груза на более мелкие партии, предназначенные нескольким грузополучателям), управление ассортиментным составом, краткосрочное хранение и комплектация партии груза для отправки грузополучателям. Автотранспортный терминал назначения, помимо разукрупнения партий груза, может использоваться как региональный распределительный центр, предоставляя высокий уровень логистического обслуживания потребителей.

5. Развоз груза с терминала назначения грузополучателям, при этом, также как и на первом этапе, используются грузовые автомобили малой и средней грузоподъёмности. На этом этапе решаются задачи маршрутизации и оптимизации местных перевозок («последней мили»), где в качестве критерия могут выступать расстояние, выбросы или время. Важным фактором выполнения оперативного и ритмичного развоза товара к получателям является тесное взаимодействие терминала и перевозчиков, для этой цели разрабатывается единая согласованная технология их работы.

Возникающие при автомобильных терминальных перевозках затраты, связанные с содержанием терминалов, грузовыми операциями при перевалке грузов и подвозом-развозом, компенсируются экономией при консолидации грузовых партий в определённом направлении. То есть вместо нескольких магистральных перевозок в одном направлении выполняется всего одна.

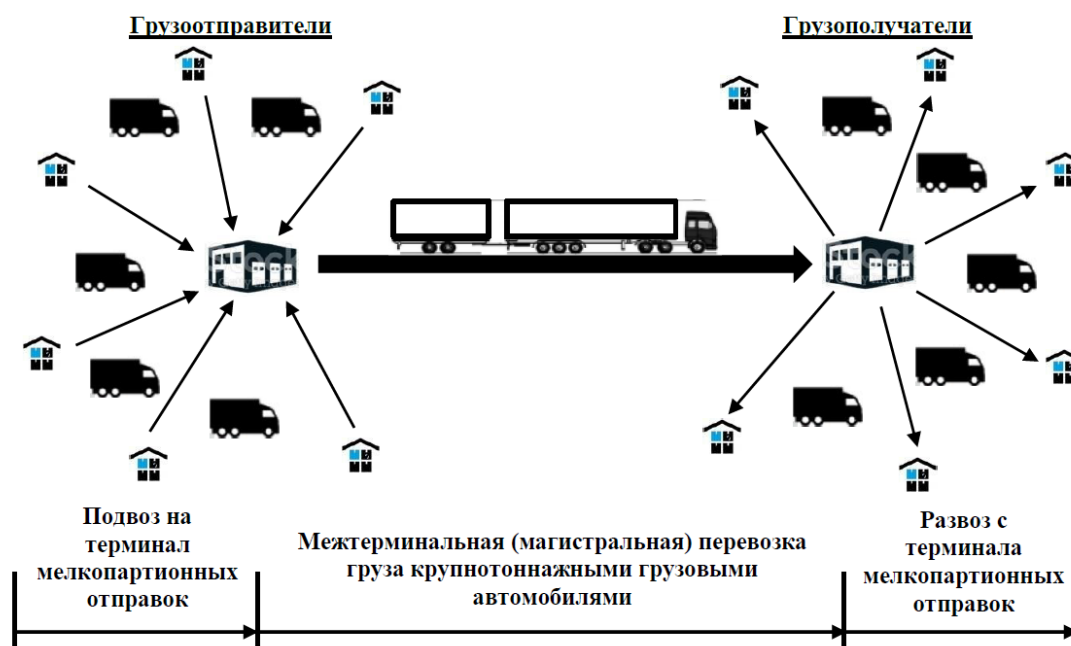


Рис. 1. Схема автомобильной терминальной технологии

Терминалы, как правило, располагаются на пересечении основных грузопотоков города, области или региона. Они размещаются в крупных промышленных районах, на территории морских и речных портов, аэропортов и логистических центров. Часто расположение автотранспортного терминала определяется удобством выхода на магистральные дороги или автодорожные сети с высокими осевыми нагрузками, что необходимо для эксплуатации крупнотоннажных автопоездов.

Характерной особенностью автомобильной терминальной технологии является кооперация и сотрудничество между компаниями, проявляющиеся в самых различных формах. Мелкие компании обычно занимаются подвозом-развозом в зонах действия терминалов. Обычной является практика совместной эксплуатации автомобильного подвижного состава и ремонтной базы. В отдельных случаях мелкие перевозки «по эстафете» передают груз друг другу, выполняя таким образом перевозки на дальние расстояния, в том числе и международные. Зарубежные специалисты считают подобное сотрудничество одним из важных факторов, обеспечивающих стабильность отрасли в

условиях непрекращающейся конкуренции с другими видами транспорта [9].

Автотранспортные терминалы не предназначены для длительного хранения товаров, однако, в современных транспортно-логистических цепях на их территории сооружаются складские здания, управляемые одним владельцем (оператором). Таким образом, автотранспортные терминалы интегрируются в систему товарораспределения.

Дополнительные экономический (технологический) и экологический эффекты в автомобильных терминальных системах могут быть получены путём применения принципов и инструментария «зелёной» логистики. При организации перевозок это может быть внедрение мероприятий по уменьшению пробок на автодорогах, мониторинга скорости движения, эко-вождения. Значительное снижение вредных выбросов может дать модернизация подвижного состава: внедрение «гибридных» (электрических) транспортных средств, применение устройств нейтрализации и очистки выбросов от токсичных компонентов, использование более экономичных и менее токсичных двигателей, использование более «экологических» видов ГСМ и топлива.

Материалы и методы. Для определения экономической эффективности автомобильных терминальных перевозок используем схему, приведенную на рис. 1. Сравним два варианта: доставка напрямую от грузоотправителей до грузополучателей и доставка через терминальную систему. Для упрощения задачи примем следующие исходные данные: количество грузоотправителей и грузополучателей – по 6; предложение и спрос поставщиков и потребителей – 10 т; среднее расстояние местной перевозки (подвоза-развоза) – 20 км; затраты на терминальную грузопереработку – 1200 руб./т. Расстояние межтерминальной перевозки варьируем от 100

до 1500 км с шагом 100 км. Для магистральной перевозки используем автопоезда грузоподъемностью 20 и 30 т. Затраты на перевозку примем на основании прайс-листов крупнейших автоперевозчиков России: для местных перевозок грузовыми автомобилями грузоподъемность 10 т – 50 руб./км; для магистральных перевозок автопоездами грузоподъемностью 20 т – 60 руб./км, 30 т – 80 руб./км. Сравнение затрат по вариантам приведено на рис. 2, а на рис. 3 показан график зависимости снижения затрат (в %) при терминальной перевозке от расстояния между терминалами.

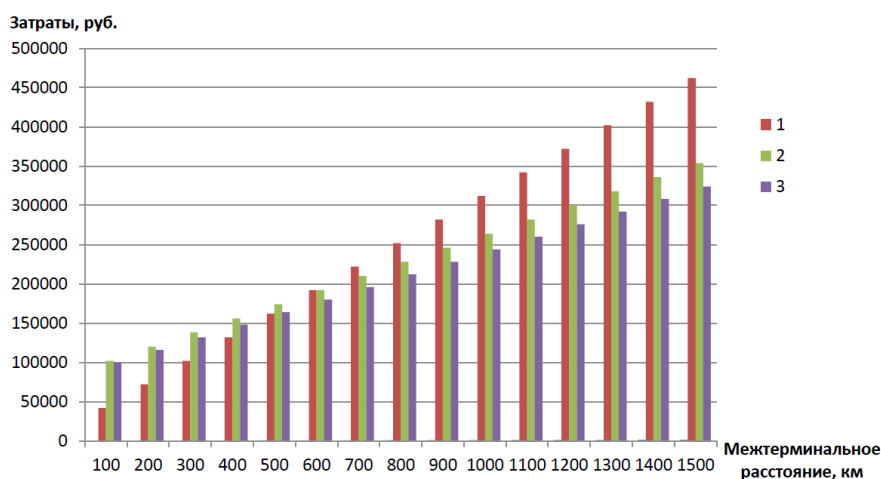


Рис. 2. Сравнение затрат при различных вариантах доставки груза:

1 – прямая доставка автомобилями грузоподъемностью 10 т; 2 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъемностью 20 т; 3 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъемностью 30 т

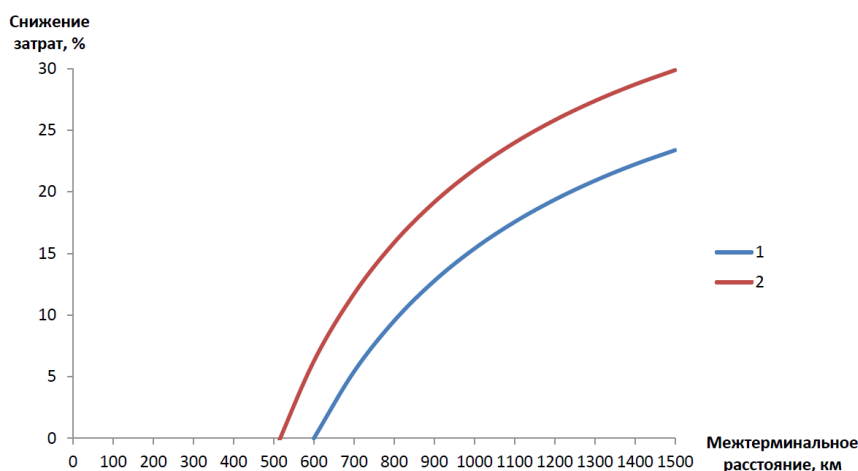


Рис. 3. Зависимости снижения затрат при замене прямых перевозок на терминальные от расстояния между терминалами:

1 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъемностью 20 т;
2 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъемностью 30 т

Для определения экологической эффективности автомобильных терминальных перевозок выполним расчёт выбросов CO_2 по приведенным выше вариантам доставки груза. Удельные выбросы CO_2 примем на основании методических рекомендаций [10]: при перевозке автомобилями грузоподъемностью

10 т – 679,5 г/км; 20 т – 865,8 г/км; 30 т – 980,0 г/км. Сравнение выбросов CO_2 по вариантам приведено на рис. 4, а на рис. 5 показан график зависимости снижения выбросов CO_2 (в %) при терминальной перевозке от расстояния между терминалами.

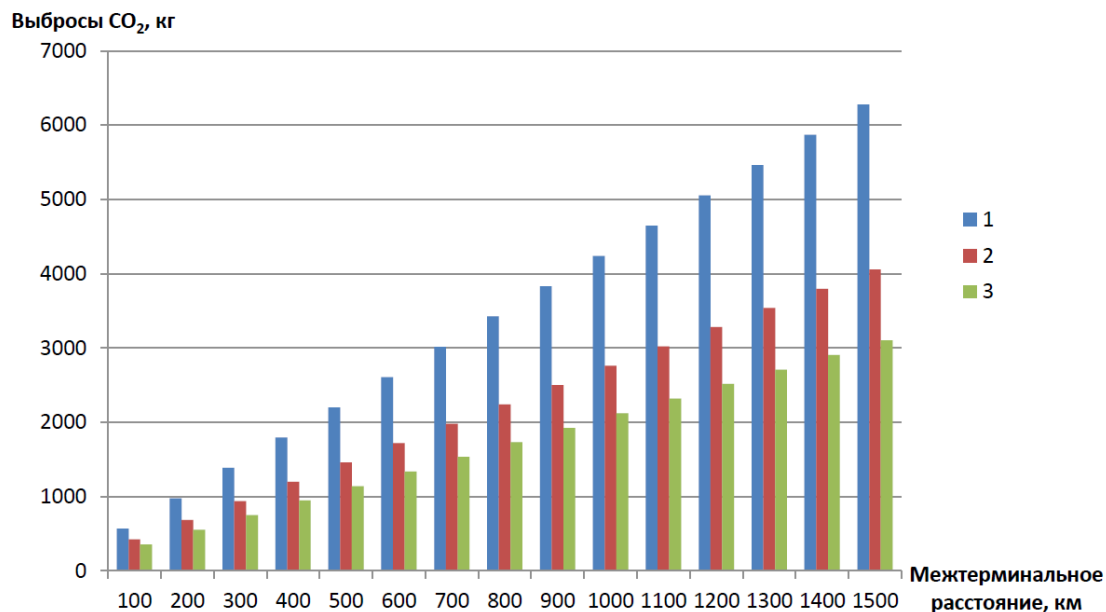


Рис. 4. Сравнение выбросов CO_2 при различных вариантах доставки груза:

1 – прямая доставка автомобилями грузоподъемностью 10 т; 2 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъемностью 20 т; 3 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъемностью 30 т

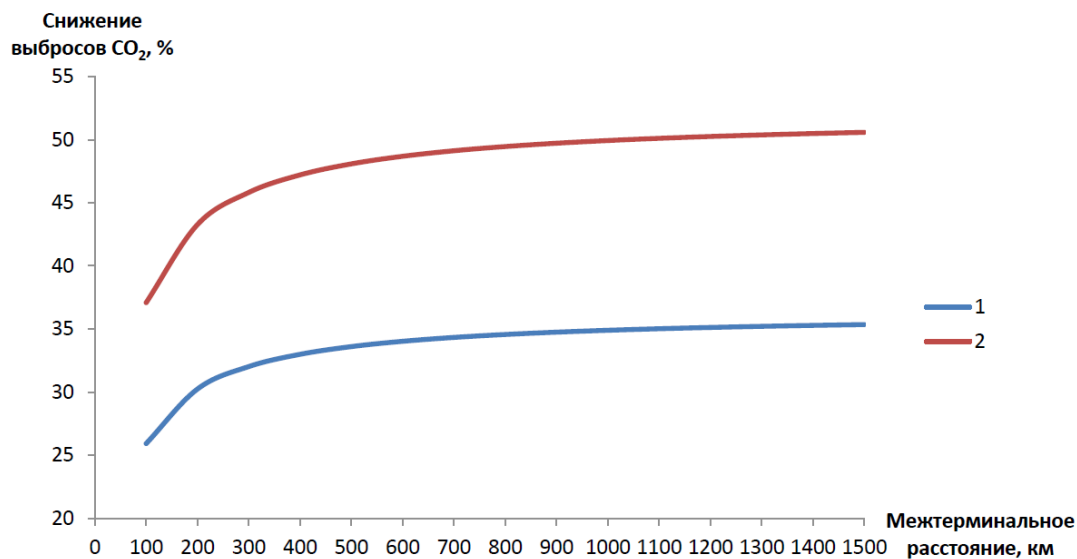


Рис. 5. Зависимости снижения выбросов CO_2 при замене прямых перевозок на терминальные от расстояния между терминалами:

1 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъемностью 20 т;
2 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъемностью 30 т

Результаты и обсуждения. Анализ рис. 2 и 3 показывает, что автомобильные терминальные перевозки становятся экономически эффективными при расстоянии между терминалами 500 км и более. При меньших расстояниях суммарные затраты на терминальную грузопереработку превышают затраты на перевозку. Увеличение межтерминального расстояния ведёт к снижению затрат в сравнении с прямыми перевозками между грузоотправителями и грузополучателями, причём это снижение проявляется в большей степени для автопоездов большей грузоподъёмности. Прежде всего, это объясняется тем, что суммарный объём перевозимого груза (60 т) доставляется за два-три раза. Таким образом, достигается эффект масштаба.

Анализ рис. 4 и 5 показывает, что автомобильные терминальные перевозки становятся экологически эффективными при использовании автопоездов с разной грузоподъёмностью. Увеличение межтерминального расстояния ведёт к снижению выбросов CO₂ в сравнении с прямыми перевозками между грузоотправителями и грузополучателями, причём при увеличении расстояния между терминалами более 500 км это снижение проявляется в меньшей степени. При этом использование автопоездов грузоподъёмностью 30 т при увеличении межтерминального расстояния позволяет сократить выбросы CO₂ вдвое.

Выводы. На основании проведенных исследований можно сделать следующий вывод: применение автомобильных терминальных перевозок по сравнению с прямыми перевозками между грузоотправителями и грузополучателями позволяет уменьшить затраты на доставку товаров при межтерминальных расстояниях свыше 500 км и снизить негативное влияние на окружающую среду, как было продемонстрировано, выбросы CO₂ сокращаются до двух раз.

Список источников

1. Hrusovsky M., Demir E., Jammerneegg W., Woensel T.V. Hybrid simulation and optimization approach for green intermodal transportation problem with travel time uncertainty. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 2018; 30 (3): 486-516. <https://doi.org/10.1007/s10696-016-9267-1>.
2. Lai D., Costa Y., Demir E., Florio A.M., Woensel T.V. The Pollution-Routing Problem with Speed Optimization and Uneven Topography. *arXiv:2105.09229v1 [math.OC]*. 19 May 2021; 32 p. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.09229>.
3. Sarkis J., Dou Y. *Green supply chain management*. New York. Routledge. 2018.
4. Ленич С.В., Никишкин Ю.А. Формирование транспортно-складских цепей на принципах «зелёной» логистики // Научный информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление». – 2022. – № 4. – С. 22-26.
5. Yang X. *Green Hub Location-Routing Problem for LTL Transport*. Doctoral Dissertation, University of Brittany Loire, Nantes, France, 2018.
6. Кузьмина М.А., Надирян С.Л., Ачмиз Ш.М. Перспективы развития терминальной системы грузовых автомобильных перевозок в международном сообщении России // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 3. – С. 32-35.
7. Heilig L., Voß S. Inter-terminal transportation: an annotated bibliography and research agenda. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 2017; 29: 35-63, <https://doi.org/10.1007/s10696-016-9237-7>.
8. Файзуллин Г.Р. Организация магистральных автомобильных перевозок на терминальной технологии // Аллея науки. – 2019. – Т. 2. – № 12 (39). – С. 190-192.
9. Кравченко Е.А., Бабий А.В., Ушмаев Е.Н. Эффективность терминальной системы перевозок грузов // *Фундаментальные исследования*. – 2007. – № 12-1. – С. 61-65.
10. Расчетные инструкции (методики) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами и дорожно-строительными машинами в атмосферный воздух. – М.: Автополис-плюс, 2008. – 84 с.

References

1. Hrusovsky M., Demir E., Jammerneegg W., Woensel T.V. Hybrid simulation and optimization

approach for green intermodal transportation problem with travel time uncertainty. Flexible Services and Manufacturing Journal. 2018; 30 (3): 486-516. <https://doi.org/10.1007/s10696-016-9267-1>.

2. Lai D., Costa Y., Demir E., Florio A.M., Woensel T.V. The Pollution-Routing Problem with Speed Optimization and Uneven Topography. arXiv:2105.09229v1 [math.OC]. 19 May 2021; 32 p. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.09229>.

3. Sarkis J., Dou Y. Green supply chain management. New York. Routledge. 2018.

4. Lenich S.V., Nikischkin Yu.A. Formation of transport and warehouse chains based on the principles of "green" logistics. Scientific information collection "Transport: science, technology, management". 2022; 4: 22-26.

5. Yang X. Green Hub Location-Routing Problem for LTL Transport. Doctoral Dissertation, University of Brittany Loire, Nantes, France, 2018.

6. Kuzmina M.A., Nadiryan S.L., Achmiz S.M. Prospects for the development of the terminal system

of road freight transportation in the international communication of Russia. Science. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin). 2022; 3: 32-25.

7. Heilig L., Voß S. Inter-terminal transportation: an annotated bibliography and research agenda. Flexible Services and Manufacturing Journal. 2017; 29: 35-63, <https://doi.org/10.1007/s10696-016-9237-7>.

8. Fayzullin G.R. Organization of trunk road transport on terminal technology. Alley of Science. 2019; 2-12 (39): 190-192.

9. Kravchenko E.A., Babiý A.V., Uschmaev E.N. Efficiency of the terminal system of cargo transportation. Fundamental research. 2007; 12-1: 61-65.

10. Calculation instructions (methods) for the inventory of emissions of pollutants by motor vehicles and road construction machines into the atmospheric air. M.: Avtopolis-plyus; 2008.

Статья поступила в редакцию 10.06.2024

Информация об авторах

Ленич Сергей Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных технологий Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: mouselenich@yandex.ru

Information about the authors

Lenich Sergey Vasilievich, candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department "Transport technologies" Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: mouselenich@yandex.ru

Для цитирования:

Ленич С.В. Об эффективности автомобильных терминальных перевозок // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 7 (85). – С. 51-58.

For citations:

Lenich S.V. On the effectiveness of road terminal transportation // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 7 (85). – P. 51-58.

УДК 621.874

МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ТОРМОЖЕНИЯ МОСТОВЫХ КРАНОВ ТОРМОЗАМИ С НАРАСТАЮЩИМ ТОРМОЗНЫМ МОМЕНТОМ

Самойлова И. С., Мирошников А. А.

MULTI-PARAMETER ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF BRAKING OF OVERHEAD CRANES BY BRAKES WITH INCREASING BRAKING TORQUE

Samoilova I. S., Miroshnikov A. A.

Аннотация. Изложена методика многопараметрического многофакторного анализа влияния механических характеристик тормоза с нарастающим тормозным моментом на параметры динамического процесса. На примере анализа динамики торможения мостовых кранов ≥ 10 т при их оборудовании тормозами с нарастающим тормозным моментом показано, что путем выбора рациональных тормозных механических характеристик приводов можно значительно снизить динамические нагрузки при приемлемой длительности процессов торможения.

Ключевые слова: тормозной момент, многофакторный анализ, грузоподъемный кран, рациональные тормозные характеристики, механизм передвижения.

Abstract. Method of multivariable multifactorial analysis of influence of mechanical characteristics of brake with increasing braking torque on dynamic process parameters is described. On the example of the analysis of braking dynamics of bridge cranes with a capacity of 10 tons when they are equipped with brakes with increasing braking torque, it is shown that by choosing the rational braking mechanical characteristics of the drives, it is possible to significantly reduce dynamic loads with an acceptable duration of braking processes.

Key words: braking torque, multivariate analysis, lifting crane, rational braking characteristics, movement mechanism.

Введение. Обследования грузоподъемных кранов мостового типа, которые проводятся различными экспертными организациями, показали, что на большинстве “старых” кранов тормоза механизмов передвижения либо отрегулированы на незначительные тормозные моменты, либо полностью распушены. Это вызвано тем, что при срабатывании нормально замкнутых тормозов (типа ТТ, ТКТГ и др.) тормозной момент практически мгновенно

достигает максимального значения, что приводит к вибрациям металлоконструкций и кабин кранов, ударам в элементах приводов. В связи со сказанным задача разработки и исследования тормозов с нарастающим тормозным моментом является весьма актуальной.

Анализ последних исследований и публикаций. Торможение большей части “старых” кранов в настоящее время

осуществляется противовключением электродвигателей. Динамические процессы при этом проходят очень интенсивно, и на элементы приводов и металлоконструкций кранов действуют повышенные динамические нагрузки [2, 3]. К отрицательным сторонам торможения противовключением электродвигателей необходимо отнести и то, что электросхемы управления многих “старых” кранов не предусматривают такой вид торможения, и чтобы при переходе рукоятки командоконтроллера нулевого положения не происходило кратковременное срабатывание тормозов, последние распускают (т.е. работают без тормозов), и аварийное обесточивание приводов приводит к серьезным последствиям. При работе без тормозов линейки концевых выключателей только обесточивают электродвигатели, но кинетическая энергия крана (тележки) не гасится тормозами. Не в пользу торможения противовключением говорит и то, что такая работа электродвигателей приводит к их дополнительному нагреву, что особенно заметно для кранов, работающих в тяжелых режимах.

Цель статьи: оценка степени влияния и взаимовлияния различных факторов, задающих вид механических характеристик тормозов с нарастающим тормозным моментом [5], на “качество” тормозных процессов мостовых кранов, что позволит для кранов разных пролетов и условий эксплуатации находить и реализовывать рациональные тормозные характеристики.

Материалы и методы. Основной задачей динамики передвижения грузоподъемных кранов является определение законов

изменения динамических нагрузок в упругих звеньях машины, тормозного пути, замедлений отдельных масс системы “привод-металлоконструкция-груз” [1, 4]. Переходные процессы передвижения мостовых кранов с достаточной точностью описываются системами нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка [1]. Получить решение таких систем аналитическим методом, как правило, не представляется возможным, численные же методы не дают универсальных решений, позволяющих судить о влиянии различных факторов на динамику кранов.

При расчетах кранов на прочность и устойчивость используют максимальные значения параметров динамических процессов ($P_m^{\max}$, $P_{\text{пр}}^{\max}$, $A^{\max}$ и др. – см. п. 4 методики), которые в нашем случае можно аппроксимировать нелинейными функциями: $P_m^{\max} = f_1(P_{T1}, t_{T1}, P_{T2}, t_{T2})$, $P_{\text{пр}}^{\max} = f_2(P_{T1}, t_{T1}, P_{T2}, t_{T2})$ и т.д. Такие статистические модели позволяют выявить степень влияние и взаимовлияние факторов P_{T1} , t_{T1} , P_{T2} , t_{T2} , задающих механическую характеристику тормоза (см. рис. 1), на параметры тормозного процесса. Применение математической теории планирования экспериментов позволяет получать статистические модели зависимости параметров $P_m^{\max}$, $P_{\text{пр}}^{\max}$, $A^{\max}$, t_t , в том числе и обобщенного критерия “качества” тормозного процесса, от факторов P_{T1} , t_{T1} , P_{T2} , t_{T2} . Многопараметрический многофакторный анализ динамики торможения кранов выполнен на примере мостовых кранов г/п 10 т конструкции ВНИИПТМАШ ($V_{\text{кр}} = 2$ м/с, $L = 22,5$ м, привод отдельный, работа в помещении) при установке на них тормозов с нарастающим тормозным моментом.

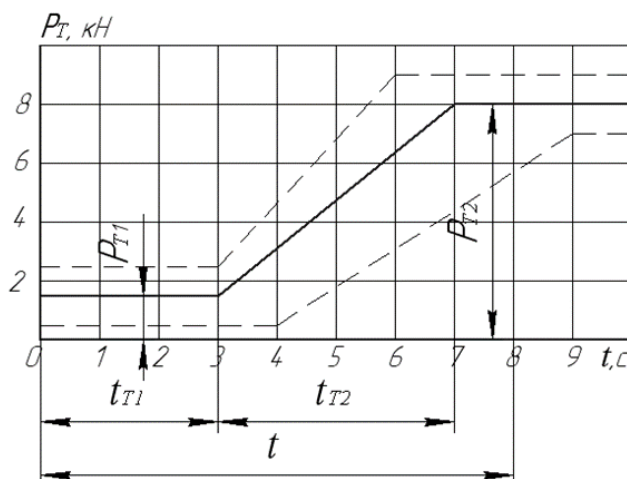


Рис. 1. Тормозные характеристики привода передвижения крана г/п 10 т

На рис. 1 представлены механические характеристики тормоза с нарастающим

тормозным моментом, которые описываются уравнениями:

$$\begin{aligned}
 P_T &= P_{T1} && \text{при } t \leq t_{T1}; \\
 P_T &= P_{T1} + \frac{P_{T2} - P_{T1}}{t_{T2}}(t - t_{T1}) && \text{при } t_{T1} < t \leq t_{T1} + t_{T2}; \\
 P_T &= P_{T2} && \text{при } t > t_{T1} + t_{T2}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

В формулах (1) P_{T1} и P_{T2} – начальное и максимальное значения приведенной силы тормоза; t_{T1} и t_{T2} – время торможения крана на первом и втором участках механической характеристики тормоза (рис. 1).

Многопараметрический многофакторный анализ динамики торможения грузоподъемных кранов включает следующие этапы:

1. Построение динамической и математической моделей крана. На первой стадии исследований эксперимент целесообразно ставить на математической модели (назовем его вычислительным экспериментом) и заключается он в определении основных параметров переходного процесса (t_{Ti} , $P_{mi}^{\max}$, $P_{при}^{\max}$, $A_i^{\max}$) численным интегрированием уравнений движения крана с грузом при торможении по различным тормозным характеристикам. В качестве динамических моделей кранов при торможении можно рассматривать трехмассовую двухсвязную или четырехмассовую трехсвязную динамические системы [1, 2].

2. Факторы. Любая механическая характеристика тормоза с нарастающим тормозным моментом (рис. 1) описывается уравнениями (1), в которые входят четыре фактора: P_{T1} , P_{T2} , t_{T1} и t_{T2} .

3. Определение области варьирования факторов на основе предварительного анализа реальной конструкции; кодирование факторов. Для оценки влияния и взаимовлияния перечисленных факторов на динамику торможения кранов на основе априорной информации определены области варьирования названных факторов.

4. Выбор обобщенного критерия “качества” тормозного процесса. “Качество” тормозного процесса грузоподъемного крана можно охарактеризовать только совокупностью параметров, определяющими из которых являются: время торможения крана t_t , максимальная динамическая нагрузка на металлоконструкцию $P_m^{\max}$ и элементы привода $P_{пр}^{\max}$, максимальная горизонтальная составляющая натяжения грузовых канатов $P_k^{\max}$ (максимальная амплитуда отклонения

груза от вертикали $A^{\max} = P_k^{\max}/c_k$). Указанные параметры всесторонне и достаточно полно характеризуют переходный процесс и во многом определяют технико-эксплуатационные характеристики крана.

Для решения многопараметрических задач существуют разные подходы. Если априорная информация позволяет дать предварительную оценку каждому отдельному параметру переходного процесса, то в качестве обобщенного критерия удобно использовать обобщенную функцию желательности Харрингтона. Для ее построения необходимо получить зависимости, позволяющие преобразовать значения параметров t_{Ti} , $P_{Mi}^{\max}$, $P_{Pri}^{\max}$, $A_i^{\max}$, ... в значения безразмерных частных желательностей d_{1i} , d_{2i} , d_{3i} , d_{4i} ... и обобщенной желательности D_i .

5. Выбор вида аппроксимирующей модели (уравнения регрессии). Для удобства практического использования целесообразно строить аппроксимирующую модель в виде полинома второй степени:

$$D^p = b_0 + \sum_{1 \leq j \leq k} b_j \cdot Z_j + \sum_{1 \leq j \leq l \leq k} b_{jl} \cdot Z_j \cdot Z_l, \quad (2)$$

где j и l – порядковые номера факторов.

6. Выбор плана эксперимента. Вычислительный эксперимент и статистические анализы в нашем случае проводятся на ЭВМ. Для построения полиномиальных моделей второго порядка (2) целесообразно применять D-оптимальные и близкие по свойствам к ним планы (планы типа B_k , планы Хартли и др.).

7. Проведение вычислительного эксперимента. В каждой точке i выбранного плана необходимо определить истинные значения варьируемых факторов (т.е. значения P_{T1} , t_{T1} , P_{T2} , t_{T2}) и решить систему дифференциальных уравнений движения крана численным методом на ЭВМ с определением t_{Ti} , $P_{Mi}^{\max}$, $P_{Pri}^{\max}$, $A_i^{\max}$, ... и дальнейшим преобразованием их в D_i .

8. Определение коэффициентов регрессии и проверка адекватности модели. В общем

случае коэффициенты уравнения регрессии (2) определяются методом наименьших квадратов.

Так как для вычислительных экспериментов величина случайной ошибки (ошибки повторного вычисления на ЭВМ) равна нулю, адекватность уравнения регрессии (2) оценивалась коэффициентом вариации

$$\rho = \frac{1}{D_{cp}} \cdot \sqrt{\frac{\sum (D_i^3 - D_i^p)^2}{N - k_1}} \leq \alpha, \quad (3)$$

где $D_{cp} = b_0$ – значение критерия “качества” переходного процесса для основного уровня факторов;

D_i^3 – полученное в результате вычислительного эксперимента (т.е. численного интегрирования уравнений движения системы “привод-металлоконструкция-груз”) значение критерия “качества” в i -ой точке плана;

D_i^p – рассчитанное с помощью полинома (2) значение критерия “качества” в i -ой точке плана;

N – число опытов;

k_1 – общее число коэффициентов регрессии.

Модель считается адекватной, если $\rho \leq \alpha$ (α – уровень значимости).

9. Анализ уравнения регрессии (каноническое преобразование этого уравнения, построение графиков линий равных откликов и др.).

Результаты и обсуждения. В соответствии с изложенным методом выполнены исследования динамики торможения упомянутого выше крана.

В качестве расчетной принята трехмассовая двухсвязная динамическая модель мостового крана [3], движение которой описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений. Тормозная сила привода передвижения крана представлена в виде уравнений механических характеристик (1), графики которых показаны на рис. 1. Длина грузовых канатов, т.е. высота подвеса груза, в исследованиях принята равной 5 м.

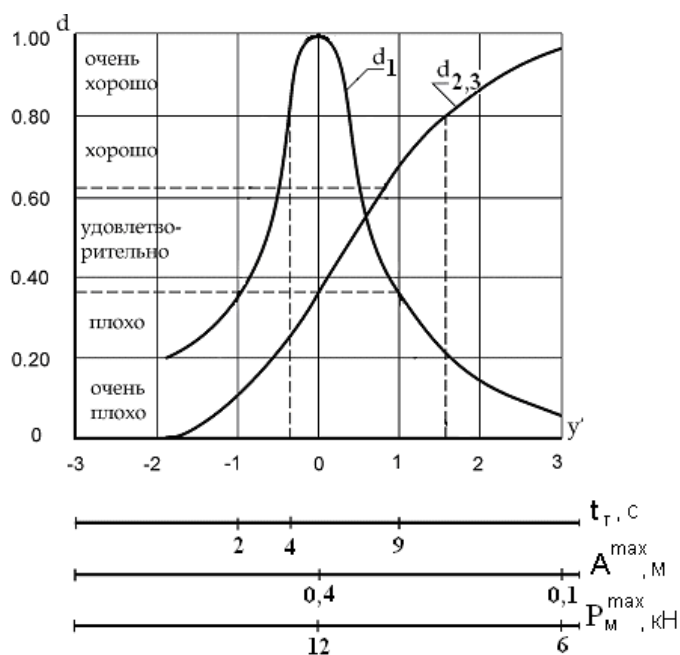


Рис. 2. Графики функций желательностей

На рис. 2 представлены графики частных функций желательностей d_1 , d_2 , d_3 , безразмерная шкала y' , а также шкалы перевода параметров t_T , $P_M^{\max}$, $A^{\max}$ в частные желательности. Для построения частных функций желательностей необходимо задать граничные значения параметрам t_T , $P_M^{\max}$, $A^{\max}$ и поставить им в соответствие отметки на шкале желательности.

Объединение частных желательностей в обобщенную желательность D осуществлялось по формуле:

$$D_i = \sqrt[3]{d_{1i} \cdot d_{2i} \cdot d_{3i}}, \quad (4)$$

где i – порядковый номер опыта.

Одно из решающих влияний на динамику передвижения кранов оказывают начальные условия, т.е. значения скоростей и перемещений приведенных масс m_m , m_k , m_T на момент начала торможения крана. В приведенных исследованиях принято, что торможение начинается при движении крана с номинальной скоростью, причем движение груза относительно точки подвеса отсутствует.

Области изменения факторов P_{T1} , t_{T1} , P_{T2} , t_{T2} определены исходя из реальных параметров

тормозов с нарастающим тормозным моментом и приняты равными (рис. 1):

$$P_{T1(\min)} = 500 \text{ Н}, \quad P_{T1(\max)} = 2500 \text{ Н};$$

$$t_{T1(\min)} = 0,5 \text{ с}, \quad t_{T1(\max)} = 2,5 \text{ с};$$

$$P_{T2(\min)} = 7000 \text{ Н}, \quad P_{T2(\max)} = 9000 \text{ Н};$$

$$t_{T2(\min)} = 3 \text{ с}, \quad t_{T2(\max)} = 5 \text{ с}.$$

На рис. 3 помещены графики параметров тормозного процесса при торможении крана пролетом 22,5 м по тормозной механической характеристике с $P_{T1} = 500 \text{ Н}$, $t_{T1} = 0,5 \text{ с}$, $P_{T2} = 9000 \text{ Н}$, $t_{T2} = 3 \text{ с}$. В данном случае $P_M^{\max} = 7,302 \text{ кН}$, $A^{\max} = 0,217 \text{ м}$, $t_{\text{торм}} = 6,544 \text{ с}$ (отметим, что в данном случае речь не идет о рациональной тормозной характеристике тормоза).

Для оценки полученного эффекта выполнены аналогичные расчеты при торможении этого же крана тормозами ТТ-160, настроенными на $P_T = 5,924 \text{ кН}$, что имеет место на реальных кранах. В этом случае $P_M^{\max} = 9,382 \text{ кН}$, $A^{\max} = 0,055 \text{ м}$, $t_T = 7,398 \text{ с}$.

На рис. 5 помещены графики процесса торможения рассматриваемого крана

противовключением электродвигателей на первую механическую характеристику. В этом случае $P_M^{\max} = 23,098$ кН, $A^{\max} = 0,263$ м, $t_T = 3,214$ с. Сравнение этого случая торможения с представленным на рис. 3

показывает, что нагрузка $P_M^{\max}$ увеличилась в 3,16 раза, максимальная амплитуда отклонения груза от вертикали после остановки крана $A^{\max}$ – в 1,2 раза.

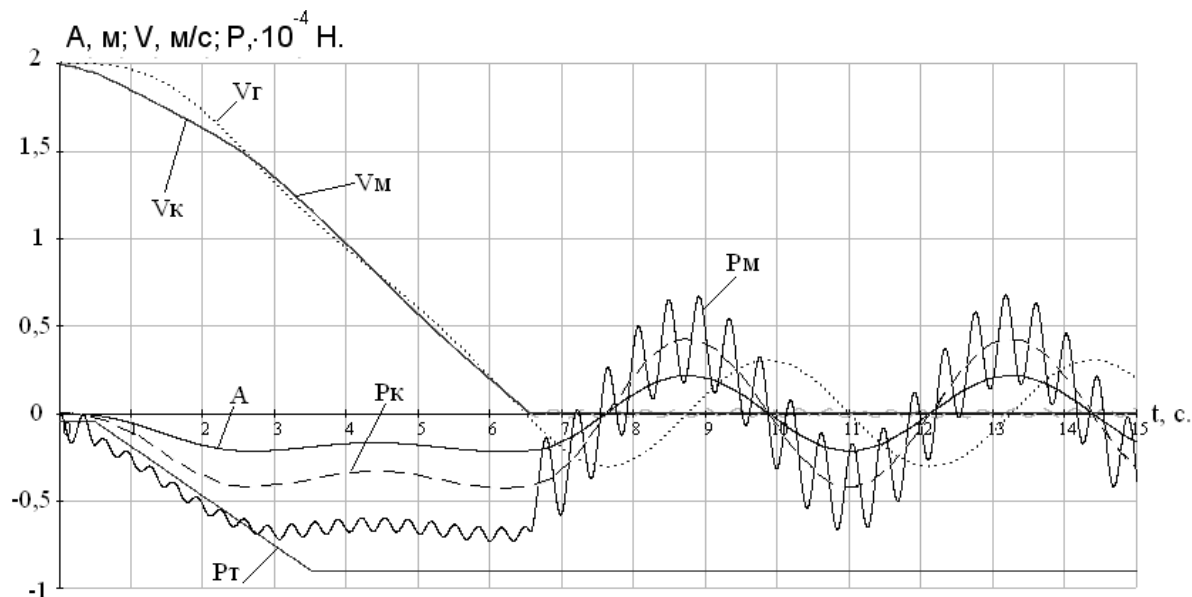


Рис. 3. График параметров при торможении крана $L = 22,5$ м тормозами с нарастающим тормозным моментом

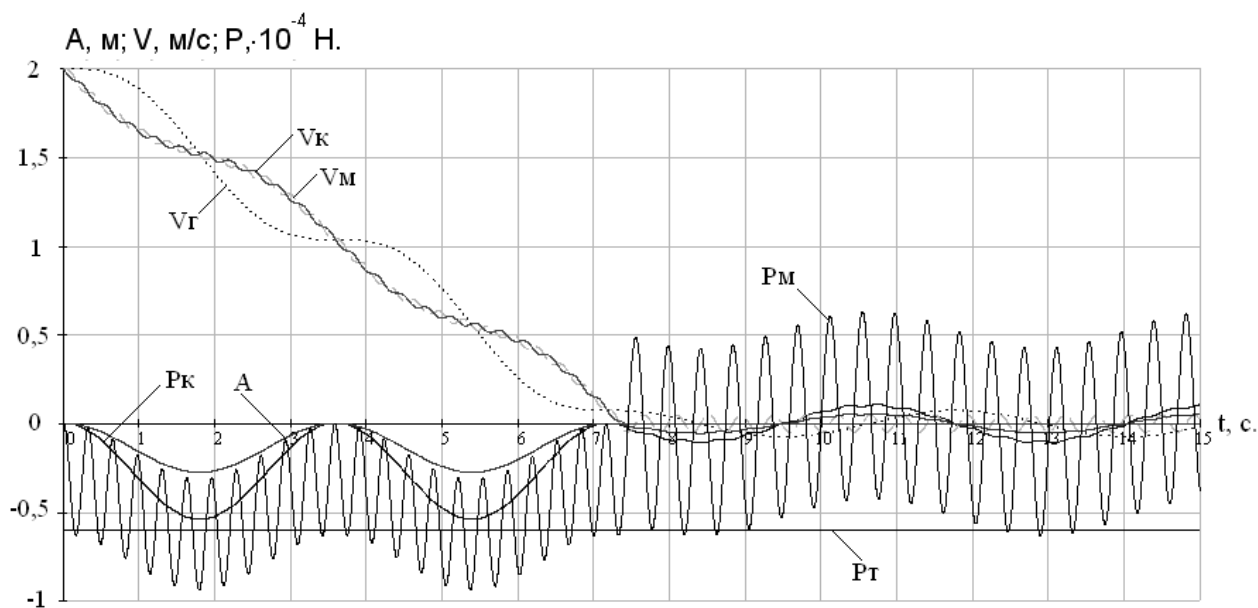


Рис. 4. График параметров при торможении крана $L = 22,5$ м тормозами ТТ-160, настроенными на $P_T = 2,962 \times 2 = 5,924$ кН

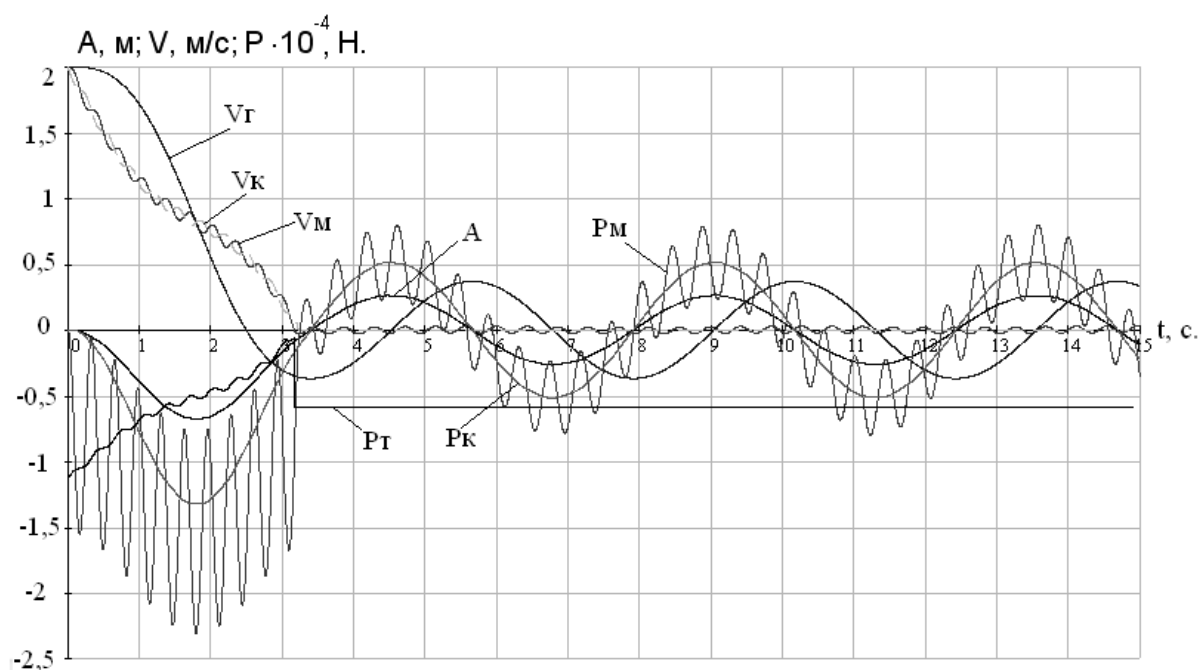


Рис. 5. График параметров при торможении крана $L = 22,5$ м противовключением электродвигателей на первую механическую характеристику

Выводы. Метод многопараметрического многофакторного анализа динамики передвижения грузоподъемных кранов, базирующийся на совместном использовании классического подхода к вопросам динамики машин и математической теории планирования многофакторных экспериментов, позволяет выполнять анализ влияния механических характеристик тормозных устройств на динамику кранов, рассчитывать и формировать рациональные по обобщенному критерию механические характеристики приводов передвижения.

На примере анализа динамики торможения мостовых кранов г/п 10 т при их оборудовании тормозами с нарастающим тормозным моментом показано, что путем выбора рациональных тормозных механических характеристик приводов можно значительно снизить динамические нагрузки при приемлемой длительности процессов торможения. Статистическая модель, описывающая зависимость $D^p = f(P_{T1}, t_{T1}, P_{T2}, t_{T2})$, позволяет оценить влияние и взаимовлияние факторов P_{T1} , t_{T1} , P_{T2} , t_{T2} на “качество” тормозных процессов

рассматриваемых кранов и формировать рациональные с точки зрения динамики механические характеристики приводов.

Список источников

1. РТМ 24.090.28-77. Краны грузоподъемные. Механизм передвижения. Метод расчета.
2. Будиков Л.Я. Многопараметрические исследования динамики грузоподъемных кранов: учеб. пособие. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2015 – 236 с.
3. Самойлова И.С. Разработка тормозных устройств и совершенствование метода расчета оптимальных тормозных характеристик механизмов передвижения мостовых кранов / И.С. Самойлова // Материалы МНТК «Наземные транспортно-технологические комплексы и средства», Тюменский индустриальный ун-т. – Тюмень: ТИУ, 2019. – С. 238-242.
4. Будиков Л.Я., Самойлова И.С. Концепция метода расчета тормозных характеристик механизмов передвижения мостовых кранов // Подъемно-транспортное дело. – 2016. – №3. – С. 13-16.
5. Будиков Л.Я., Самойлова И.С. О формировании оптимальных тормозных процессов передвижения мостовых кранов //

Материалы Международной научно-технической конференции «Наземные транспортно-технологические средства». – Тюмень: ТИУ, 2016. – С. 39-44.

6. Самойлова И.С. Многопараметрическая оптимизация процессов торможения механизмов передвижения мостовых кранов / И.С. Самойлова // Материалы МНТК «Наземные транспортно-технологические комплексы и средства», Тюменский индустриальный ун-т. – Тюмень: ТИУ, 2021. – С. 224-228.

References

1. RTM 24.090.28-77. Lifting cranes. Movement mechanism. Calculation method.
2. Budikov L.Ya. Multivariable studies of the dynamics of cargo cranes: textbook. – Lugansk: Publishing House named after V. Dahl, 2015. – 236 s.
3. Samoilova I.S. Development of braking devices and improvement of the method for calculating optimal braking characteristics of bridge crane movement mechanisms/I.S. Samoilova // Materials of MNTK "Ground transport and

technological complexes and means" Tyumen industrial unit-t. – Tyumen: TIU, 2019. – P. 238-242. (In Russ.).

4. Budikov L.Ya., Samoilova I.S. The concept of the method for calculating the braking characteristics of the movement mechanisms of bridge cranes // Lifting and transport. – 2016. – №3. – P. 13-16. (In Russ.).

5. Budikov L.Ya., Samoilova I.S. On the formation of optimal brain processes for the movement of bridge cranes // Materials of the International Scientific and Technical Conference "Ground Transport and Technological Means." – Tyumen: TIU, 2016. – P. 39-44. (In Russ.).

6. Samoilova, I.S. Multiparametric optimization of the processes of movement of movement mechanisms of bridge cranes / I.S. Samoilova // Materials of MNTK "Ground transport and technological complexes and means" Tyumen industrial un-t. – Tyumen: TIU, 2021. – P. 224-228. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 10.06.2024

Информация об авторах

Самойлова Ирина Сергеевна, старший преподаватель кафедры подъемно-транспортной техники Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: isamalan@rambler.ru

Мирошников Алексей Александрович, старший преподаватель кафедры подъемно-транспортной техники Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: topalexengineering@gmail.com

Information about the authors

Samoilova Irina Sergeevna, senior teacher of the department «Chair Hoisting-and-transport equipment» Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: isamalan@rambler.ru

Miroshnikov Aleksey Aleksandrovich, senior teacher of the department «Chair Hoisting-and-transport equipment», Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: topalexengineering@gmail.com

Для цитирования:

Самойлова И.С., Мирошников А.А. Многопараметрический анализ динамики торможения мостовых кранов тормозами с нарастающим тормозным моментом // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 7 (85). – С. 59-66.

For citations:

Samoilova I.S., Miroshnikov A.A. Multi-parameter analysis of the dynamics of braking of overhead cranes by brakes with increasing braking torque // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 7 (85). – P. 59-66.

УДК 629.113.004

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ МЕТОДОМ УДАРНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Сметана С. А., Сидорченко А. В.

TECHNOLOGICAL IMPLEMENTATION OF VEHICLE SUSPENSION DIAGNOSIS BY SHOCK PULSE METHOD

Smetana S. A., Sidorchenko A. V.

Аннотация. Существующие на данный момент способы диагностирования не обладают достаточной информативностью по фактическому состоянию элементов подвески и рулевого управления ТС, что снижает уровень надёжности и безопасности при эксплуатации. Изложены результаты разработки технологической части системы мониторинга технического состояния подвески легкового автомобиля.

Ключевые слова: механическая система, подвеска автомобиля, вибродиагностика, техническое состояние, отказ, параметр.

Abstract. The currently existing diagnostic methods do not have sufficient information on the actual condition of the suspension and steering elements of the vehicle, which reduces the level of reliability and safety during operation. The results of the development of the technological part of the system for monitoring the technical condition of the suspension of a passenger car are presented.

Key words: mechanical system, car suspension, vibration diagnostics, technical condition, failure, parameter.

Введение. Качество работы любой технической системы, характеризующееся точностью и эффективностью функционирования, имеет тенденцию со временем наработки к изменению свойств материалов изделий под влиянием внешних и внутренних факторов, что влечет за собой их отказ.

По физической сущности отказы механической системы делятся на внезапные и постепенные. Внезапные отказы чаще всего возникают из-за технологических и конструктивных дефектов или внезапных внешних воздействий. Постепенные отказы возникают из-за старения, накопления

повреждений в результате изнашивания, усталости, пластических деформаций, коррозии, эрозии и других физико-химических процессов, которые протекают в материалах изделий при эксплуатации [1, 4].

Для повышения надёжности и безопасности машин и механизмов, а также снижения затрат на их эксплуатацию широкое распространение получают системы диагностики и мониторинга состояния [2, 3].

В связи с информационной емкостью виброакустических процессов, сопровождающих функционирование машин и механизмов, использование современной микропроцессорной техники и новых методов

обработки измерительной информации, на передний план выдвигают методы пьезоэлектрической вибродиагностики как самой чувствительной к изменению технического состояния объекта контроля под воздействием возникших неисправностей [7].

Анализ последних исследований и публикаций. Виброускорение – это значение вибрации, прямо связанное с силой, вызвавшей вибрацию. Виброускорение характеризует то силовое динамическое взаимодействие элементов внутри агрегата, которое вызвало данную вибрацию. Обычно отображается амплитудой (Пик, Peak) – максимальное по модулю значение ускорения в сигнале [9].

Виброускорение измеряется в:

- метрах на секунду в квадрате [м/сек^2];
- G , где $1G = 9,81 \text{ м/сек}^2$;
- dB – децибелах.

Применение виброускорения теоретически идеально, т. к. пьезодатчик (акселерометр) измеряет именно ускорение и его не нужно специально преобразовывать [7].

Данный параметр применяется при диагностике дефектов, имеющих ударную природу, методом SPM (Shock Pulse Measurement – метод измерения ударных импульсов) рис. 1, где:

- dB_n (dB – *стандартизированный*) – значение в децибелах является стандартизированным измерением и единицей шкалы измерений, используемых в качестве стандарта для оценки состояния объекта;
- dB_m (dB – *максимальное значение*) – максимальное значение в децибелах, максимальное значение в dB_n , полученное при измерении ударного импульса, и применяется для измерения степени повреждения объекта;
- dB_c (dB – *значение степени шероховатости поверхности объекта*) – значение степени повреждения поверхности объекта в dB используется для измерения неровности поверхности объекта.

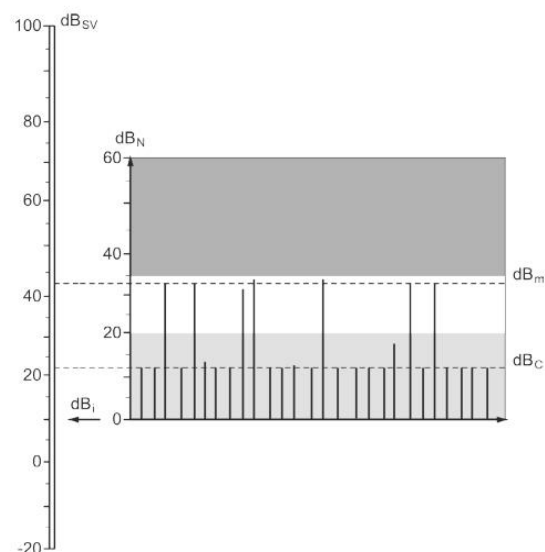


Рис. 1. Графическое представление измерения методом ударных импульсов

Данный метод предполагает зонирование величины ударного импульса по следующим абсолютным величинам [9]:

- $35 \sim 40 \text{ dBn}$ – легкое повреждение;
- $40 \sim 45 \text{ dBn}$ – серьезное повреждение;
- $> 45 \text{ dBn}$ – риск отказа.

Достоверность оценки состояния таких элементов подвески автомобиля как резинометаллические шарниры (РМШ, сайлентблоки) при техническом диагностировании зависит от его конструкции, понимания сущности рабочих процессов, выступающих в качестве носителей диагностической информации, и от знания законов возникновения и развития неисправностей.

В подвеске автомобиля РМШ, являясь эластичным элементом, выполняют две функции [6]:

1. Гасят и изолируют радиальные, осевые, торсионные и карданные колебания, которые возникают в результате работы подвески (рис. 2).
2. Обеспечивают эластокинематику подвески за счет временной деформации под воздействием внешних нагрузок, оптимально воздействуя на положение колес в различных дорожных ситуациях (рис. 3).

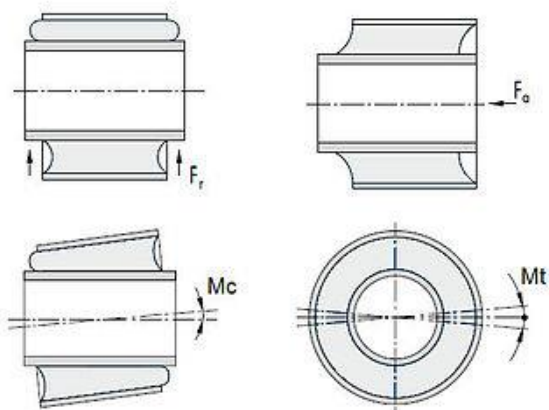


Рис. 2. Схема деформирования упругого элемента сайлентблока под воздействием внешних нагрузок

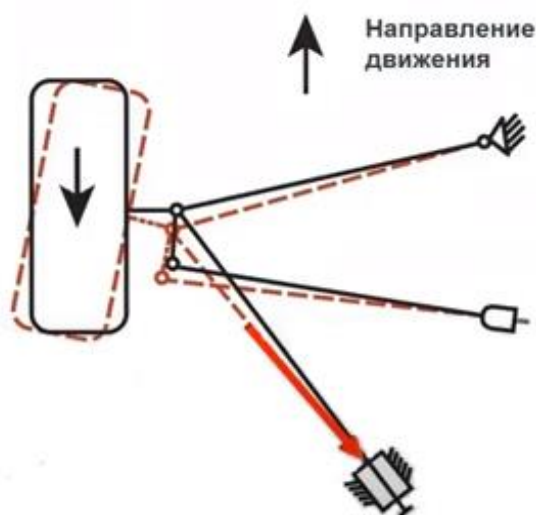


Рис. 3. Кинематическая схема работы подвески Макферсон при торможении

Материалы и методы. Результаты исследований показывают, что изменение параметров абсолютной вибрации объектов является следствием деградации структурных параметров механизмов.

Механическое ослабление – это обобщенное название целого ряда специфических дефектов, имеющих различную причину возникновения, локализацию и по-разному влияющих на состояние механизма.

Достаточно часто под этим термином понимается сумма нескольких различных дефектов, имеющих в конструкции или

являющихся следствием особенностей эксплуатации (рис. 4).

Возникновение механических ослаблений закономерно приводит к тому, что в процессе работы механизма, по тем или иным причинам, возникают соударения деталей, между которыми ослабли механические связи. Соударения могут происходить как между подвижными, так и между неподвижными элементами механизмов, а также между подвижными и неподвижными элементами [6].

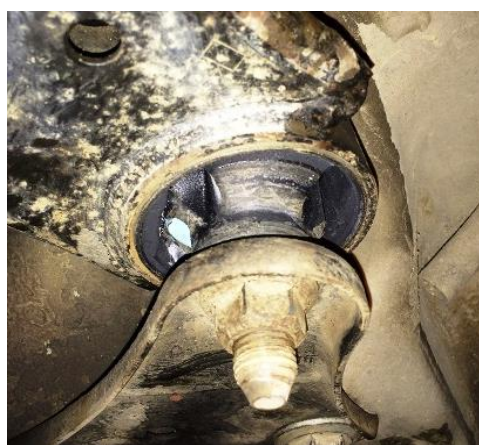


Рис. 4. Разрушение упругого элемента сайлентблока

В любом случае для проявления механических ослаблений в вибрационных сигналах должны существовать динамические факторы, приводящие к усилиям, заставляющим элементы перемещаться и соударяться друг с другом. При отсутствии таких возбуждающих сил механические ослабления в конструкции могут не проявляться.

Достаточно часто и механические ослабления сами являются «первичным» дефектом, всегда вызывающим увеличение вибрации. Особенно часто это случается в механизмах возвратно-поступательного принципа действия или имеющих такие узлы со знакопеременными нагрузками (рис. 5).

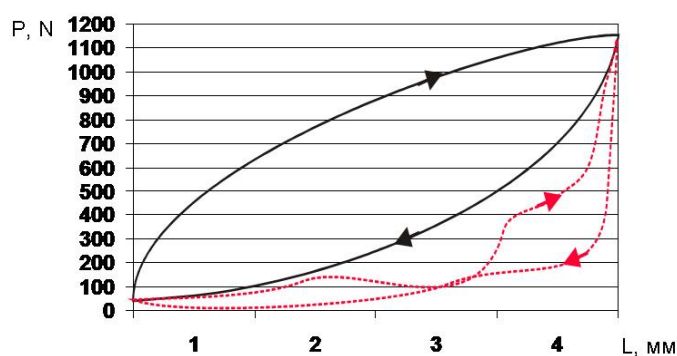


Рис. 5. Графики гистерезиса упругих элементов конструкции исправного и отказавшего сайлентблока

Современные способы диагностирования, основанные на виброакустическом методе, возможности аппаратных и программных средств данного метода, позволяют развить информативность диагностики по направлению прогнозирования технического состояния транспортного средства. Это обеспечивается созданием системы мониторинга [8, 10].

С целью сокращения трудоемкости диагностических работ был разработан общий алгоритм проведения вибрационных измерений по методу ударного импульса, приведенный на рис. 6.

Процесс можно условно разделить на два этапа.

Первый этап – подготовка оборудования, настройка измерительной аппаратуры.

Второй этап – непосредственно измерение уровня ударного импульса и обработка полученных данных.

Сохранение полученных данных дает возможность прогнозировать состояние объекта, планировать регулировочные и ремонтные работы, осуществлять текущий контроль работоспособности наиболее ответственных узлов и элементов.

Описание алгоритма выполним пошагово с 1.

2. Проверка видимых дефектов осуществляется органолептическим методом по наличию разрушений, деформации, подтеканию смазки и т.п.

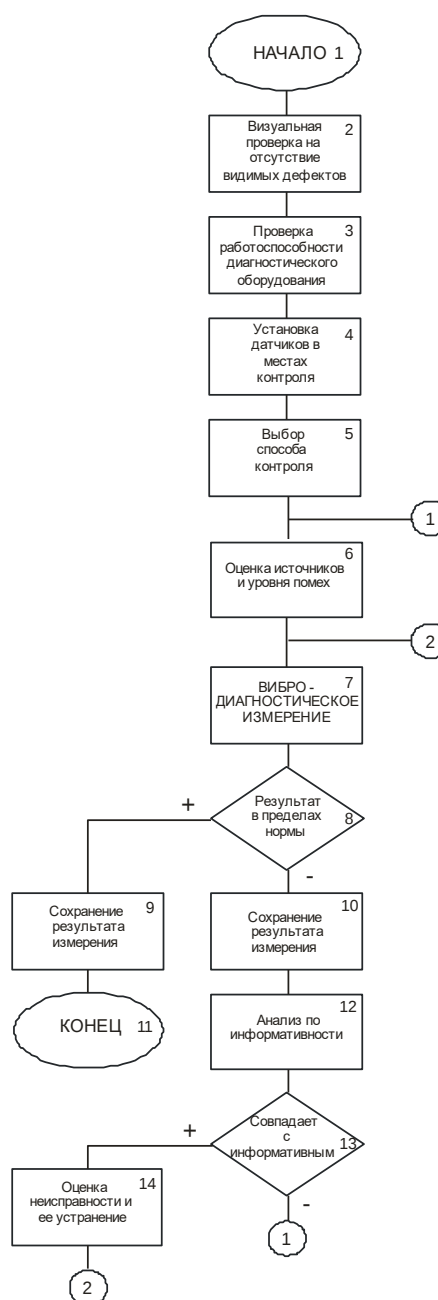


Рис. 6. Общий алгоритм технологического процесса диагностирования

3. Проверка работоспособности диагностического оборудования производится в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

4. Установка датчиков в местах контроля осуществляется с использованием схем установки на конкретном объекте контроля (рис. 7).

5. Выбор способа контроля ударного импульса.

6. Настройка оборудования производится методом тестового контроля согласно инструкции по эксплуатации. Наличие помех не допускается.

7. Вибродиагностическое измерение. Данный пункт имеет свои особенности, а именно – для выполнения измерения необходимо наличие эксплуатационного воздействия на объект контроля.

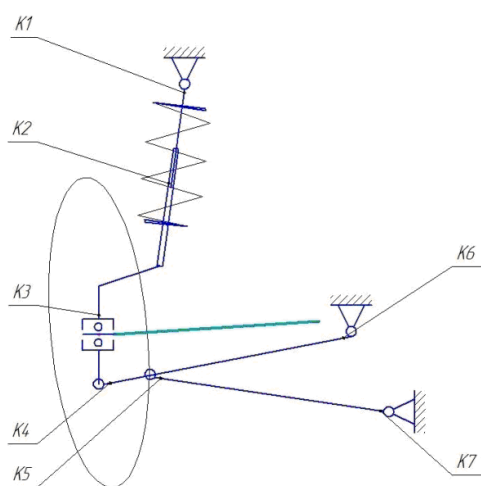


Рис. 7. Схемы контрольных точек подвески легкового автомобиля

В зависимости от диагностической задачи эти воздействия могут быть натурными или имитационными. Натурные воздействия могут быть реализованы при движении автомобиля по дороге определенного класса (полигонные испытания). Имитационные воздействия могут включать полный спектр нагрузок на объект контроля или только частичный, в зависимости от конкретной диагностической задачи и степени ее информативности с использованием стендового оборудования.

8. Это аналитическая часть алгоритма. На этом шаге, сравнивая показания результатов измерения с нормативными значениями или результатами предшествующих измерений, следует принять решение (поставить диагноз) о техническом состоянии объекта.

В случае соответствия показаний: 9 – сохранение результата измерения и окончание технологического процесса 11.

В случае выявления несоответствия показаний: 10 – сохранение результата измерения и 12 – его анализ по информативности причинно-следственных связей несоответствия.

13. На данном шаге принимается решение о последующих действиях.

Результаты и обсуждения. В случае недостаточной информативности: производится переход процесса в точку «1» и процесс выполняется повторно для достижения требуемого уровня информативности.

В случае достаточной информативности: производится оценка обнаруженных нарушений и выполняется их устранение, после которого с целью контроля эффективности технических воздействий процесс выполняется повторно – переход в точку «2» для достижения требуемого уровня информативности.

Выводы. Применение виброакустической диагностики в технологическом процессе технического обслуживания и ремонта автомобилей позволяет существенно расширить возможности технической эксплуатации в направлении информативности.

Выбор средств диагностирования также должен соответствовать данному направлению, а именно: точности, стабильности, чувствительности и сохранности измеряемых диагностических параметров.

Практическая реализация диагностирования по методу ударных импульсов может быть произведена с применением существующего или вновь разработанного диагностического оборудования.

Список источников

1. Автомобили. Конструирование и расчет. Системы управления и ходовая часть Под. ред. Гришкевича А.И. – Минск, "Высшая школа" 1987. – 200 с.
2. Колебания автомобиля. Испытание и исследование. Под. ред. Певзнера Я.М. – М.: Машиностроение, 1979. – 208 с.
3. Раймпель И. Шасси автомобиля. Элементы подвески. – М.: Машиностроение, 1987. – 282с.
4. Альсаламех Бальсам, Рязанцев В.И. Стабилизация вертикальных реакций дороги на колеса и плавность хода автомобиля // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2017. № 5. – С. 29-36. DOI: 10.18698/0536-1044-2017-5-29-36.
5. Эткин Л. Г. Виброчастотные датчики. Теория и практика; МГТУ им. Н. Э. Баумана. – Москва, 2004. – 408 с.
6. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.
7. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф.Я. Балийкин, М.А. Иванова, А.Г. Соколова, Е.И. Хомяков. – М.:Наука, 1984. – 120 с.
8. <http://avtokompania.net/lyuft-detektor-sovremennoe-oborudovanie-dlya-diagnostiki-podveski/>.
9. Стандарт ISO 1683:2015 и ГОСТ Р ИСО 13373-2:2009.
10. Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. – Ассоциация ВАСТ, Россия, С-Петербург, 2000.

Информация об авторах

Сметана Сергей Александрович, канд. техн. наук, доц. кафедры «Автомобильный транспорт» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Сидорченко Александр Владимирович, магистр, старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

References

1. Cars. Design and calculation. Control systems and running gear. Under. ed. Grishkevich A.I. – Minsk, "The Highest School" 1987. – 200 p.
2. Vehicle vibrations. Test and research. Under. ed. Pevzner Ya.M. – M.: Mashinostroenie, 1979. – 208 p.
3. Reimpel I. Car chassis. suspension elements. – M.: Mashinostroenie, 1987. – 282p.
4. Alsalameh Balsam, Ryazantsev V.I. Stabilization of the vertical reactions of the road to the wheels and the smoothness of the car // News of higher educational institutions. Engineering. 2017. No. 5. S. 29-36. DOI: 10.18698/0536-1044-2017-5-29-36.
5. L. G. Etkin, Vibrofrequency sensors. Theory and practice; MSTU im. N. E. Bauman. – Moscow, 2004. – 408 p.
6. Biderman V.L. Theory of mechanical vibrations: – M.: Higher school, 1980. - 408 p.
7. Vibroacoustic diagnostics of nascent defects / F.Ya. Balyikin, M.A. Ivanova, A.G. Sokolova, E.I. Khomyakov.
8. <http://avtokompania.net/lyuft-detektor-sovremennoe-oborudovanie-dlya-diagnostiki-podveski/>.
9. ISO 1683:2015 and GOST R ISO 13373-2:2009.
10. Barkova. V., Barkova N.A., Azovtsev A.Yu. Monitoring and diagnostics of rotary machines by vibration. – VAST Association, Russia, St. Petersburg, 2000.

Статья поступила в редакцию 10.06.2024

Information about the authors

Smetana Sergey Aleksandrovich, Cand. tech. Sciences, Assoc. Department "Car transport" , Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

Sidorchenko Alexander Vladimirovich, Master, Senior Lecturer of the Department "Car transport" Lugansk Vladimir Dahl State University.

Для цитирования:

Сметана С.А., Сидорченко А.В. Технологическая реализация диагностирования подвески автомобиля методом ударных импульсов // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 7 (85). – С. 67-73.

For citations:

Smetana S.A., Sidorchenko A.V. Technological implementation of vehicle suspension diagnosis by shock pulse method // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 7 (85). – P. 67-73.

УДК 629-424.1

**РАСЧЕТ УНИВЕРСАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ДЛЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗОВ****Тасанг Э. Х., Быкадоров В. В., Ключев А. С., Иванова Е. И., Ливцов Ю. В.****CALCULATION OF THE UNIVERSAL MAGNETIC CHARACTERISTIC
FOR TRACTION ELECTRIC MOTORS OF DIESEL LOCOMOTIVES****Tasang E. H., Bykadorov V. V., Klyuev A. S., Ivanova E. I., Livtsov Yu. V.**

Аннотация. Целью данной работы является упрощение предварительных расчетов тягово-экономических характеристик тепловозов при недостатке исходных данных для тяговых электродвигателей (ТЭД), таких как: электромеханические или нагрузочные характеристики при комплектации тяговой передачи, а также для моделирования динамических процессов при исследованиях движения локомотива с составом. В данной статье рассмотрено получение безразмерной и универсальной магнитных характеристик тяговых электродвигателей тепловозов для расчета их тягово-экономических параметров. При проектировании новых и модернизации находящихся в эксплуатации тепловозов актуально прогнозирование их тягово-экономических параметров в процессе комплектации электрической передачи мощностью ее составляющими: дизелем, генератором, тяговыми электродвигателями. Построение тягово-экономических характеристик и моделирование электромеханических процессов в электрической передаче производится при наличии электромеханических или же нагрузочных характеристик. В статье предложены безразмерная и универсальная магнитные характеристики и методика их получения. Приведенные результаты позволяют получить данные для рационального выбора конструктивных параметров тяговых передач, проектируемых и модернизируемых тепловозов без использования электромеханических или же нагрузочных характеристик.

Ключевые слова: тяговая передача мощности, конструкционная скорость, касательная сила тяги, электромеханические характеристики, магнитная характеристика, нагрузочная характеристика.

Abstract. The purpose of this work is to simplify preliminary calculations of the traction and economic characteristics of diesel locomotives with a lack of initial data for traction electric motors (TEM), such as: electromechanical or load characteristics when completing a traction transmission, as well as for modeling dynamic processes when studying the movement of a locomotive with a train. This article discusses obtaining dimensionless and universal magnetic characteristics of traction electric motors of diesel locomotives to calculate their traction and economic parameters. When designing new and modernizing diesel locomotives in operation, it is important to predict their traction and economic parameters in the process of completing the electrical power transmission with its components: diesel, generator, traction electric motors. The construction of traction and economic characteristics is carried out in the presence of electromechanical or load characteristics. The article proposes dimensionless and universal magnetic characteristics and a method for

obtaining them. These results allow us to obtain data for a rational choice of design parameters of traction gears, designed and modernized locomotives without using electromechanical or load characteristics.

Key words: traction power transmission, design speed, tangential traction force, electromechanical characteristics, magnetic characteristics, load characteristics.

Введение. Качество современного подвижного состава железных дорог в значительной мере зависит от процессов и стадий преобразования энергии при формировании силы тяги локомотива и его тяговой характеристики.

На стадии проектирования современных локомотивов важно прогнозировать их тягово-экономические характеристики, а особенно параметры электрической передачи мощности. В настоящее время эта проблема решается, как правило, с использованием электромеханических (ЭМХ) или же нагрузочных характеристик (НХ) тяговых электродвигателей (ТЭД). Однако зачастую эти характеристики отсутствуют, а их применение сопряжено с хранением большого цифрового материала.

Таким образом, применение универсальной магнитной характеристики (УМХ) и методики ее использования представляет собой весьма важную и актуальную научно-производственную задачу.

Анализ последних исследований и публикаций. Расчетам тягово-экономических характеристик тепловозов посвящены публикации [1-2], а исследованиям, связанных с параметрами электрической передачи - [3-9].

На кафедре «Железнодорожный транспорт» ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет им. В. Даля» разработан и в настоящее время совершенствуется программный пакет на алгоритмическом языке JavaScript в HTML для проектирования электрической передачи тепловозов. Программный пакет позволяет комплектовать структуру электрической передачи путем подбора ее элементов, как конструктор, и получать результаты в виде графиков и цифрового материала для тяговой характеристики, внешней характеристики тягового генератора, нагрузочных

характеристик, с учетом сопротивления движению поезда и комплектации состава различного типа вагонами. При этом в расчетах используются ЭМХ и нагрузочные характеристики ТЭД. Настоящая работа предполагает выполнение расчетов без использования этих характеристик только на основе номинальных справочных значений параметров тяговых электродвигателей.

Изложение основных материалов. С целью упрощения понимания материала его изложение в дальнейшем будет сопровождаться расчетным и графическим материалом, полученным посредством системы математических расчетов Mathcad.

Расчет тягово-экономические характеристик тепловозов предполагает выбор основных параметров тяговой передачи мощности [2], при котором предварительно определяются ее основные характеристики в точке длительного режима тяговой характеристики при движении тепловоза со сцепной массой $M_{сц}$ на расчетном подъеме 9‰. Это расчетные касательная сила тяги $F_{кр}$, скорость локомотива v_p , номинальные значения токов якоря ТЭД $I_{тэд.н}$, напряжения $U_{тэд.н}$ и частота вращения вала $n_{тэд.н}$. Последние три параметра необходимы для получения универсальной магнитной характеристики.

Магнитная характеристика ТЭД постоянного тока представляет собой зависимость магнитного потока $\Phi_{тэд}$ от тока возбуждения I_B [9]:

$$\Phi_{тэд} = f(I_B). \quad (1)$$

Для электродвигателя с последовательным возбуждением для полного поля, при $I_{тэд} = I_B$, известно соотношение

$$n_{\text{тэд}} = \frac{U_{\text{тэд}} - I_{\text{тэд}} \cdot R_{\Sigma} - U_{\text{щ}}}{C_e \cdot \Phi_{\text{тэд}}} = \frac{E_{\text{тэд}}}{C_e \cdot \Phi_{\text{тэд}}}, \quad (2)$$

где $n_{\text{тэд}}$ – частота вращения вала двигателя [об/мин]; $U_{\text{тэд}}$, $I_{\text{тэд}}$ – питающее двигатель напряжение и ток якоря [В, А]; R_{Σ} – суммарное сопротивление нагретых обмоток двигателя [Ом]; $U_{\text{щ}}$ – падение напряжения на щетках ТЭД [В]; C_e – конструктивная постоянная. Числитель выражения представляет электродвижущую силу

$$E_{\text{тэд}} = U_{\text{тэд}} - I_{\text{тэд}} \cdot R_{\Sigma} - U_{\text{щ}}. \quad (3)$$

Зависимость (2) можно представить как

$$C_e \cdot \Phi_{\text{тэд}} = \frac{E_{\text{тэд}}}{n_{\text{тэд}}} = (E/n), \quad (4)$$

а характеристику намагничивания аналогично с (1).

$$(E/n) = f(I_{\text{в}}). \quad (5)$$

Авторами были рассмотрены ЭМХ мощностного ряда наиболее распространенных серий тепловозов: ТЭМ103, ТЭМ2, ТЭ3, ТЭМ7, ТЭ127, 2ТЭ116, 2ТЭ10М, 2ТЭ116А, 2ТЭ116УП, 2ТЭ121, ТЭП150, 2ТЭ126, ТЭ136, с установленными ТЭД: ЭД-118, ЭД-133У1, ЭДТ-200Б, ЭД-120АУ1, ЭД-129У1, ЭД-126У1, ЭД-150У1 и определены их характеристики (5)

для полного и ослабленных полей и получена усредненная универсальная безразмерная характеристика.

С этой целью для приведенных серий тепловозов по известным ЭМХ были рассчитаны зависимости

$$(E/n) = \frac{E}{n} = f(I_{\text{в}}) = f(I_{\text{д}} \cdot \alpha), \quad (6)$$

определены значения $(E/n)_{\text{н}}$ при номинальных значениях токов якоря $I_{\text{тэд,н}}$, затем безразмерные характеристики

$$(E/n)_{\text{о}} = (E/n) / (E/n)_{\text{н}} = f\left(\frac{I_{\text{в}}}{I_{\text{тэд,н}}}\right) = f(I_{\text{во}}) \quad (7)$$

и построены графики в одной системе координат (рис. 1).

Как видно все узловые точки характеристик кучно ложатся на одну кривую, предположительно экспоненциальной формы. Незначительные отклонения обусловлены погрешностями при снятии ЭМХ. Оценим эти отклонения от кривой, аппроксимирующей все характеристики. Исходные данные построены на рис. 1, дополнены нулевыми значениями.

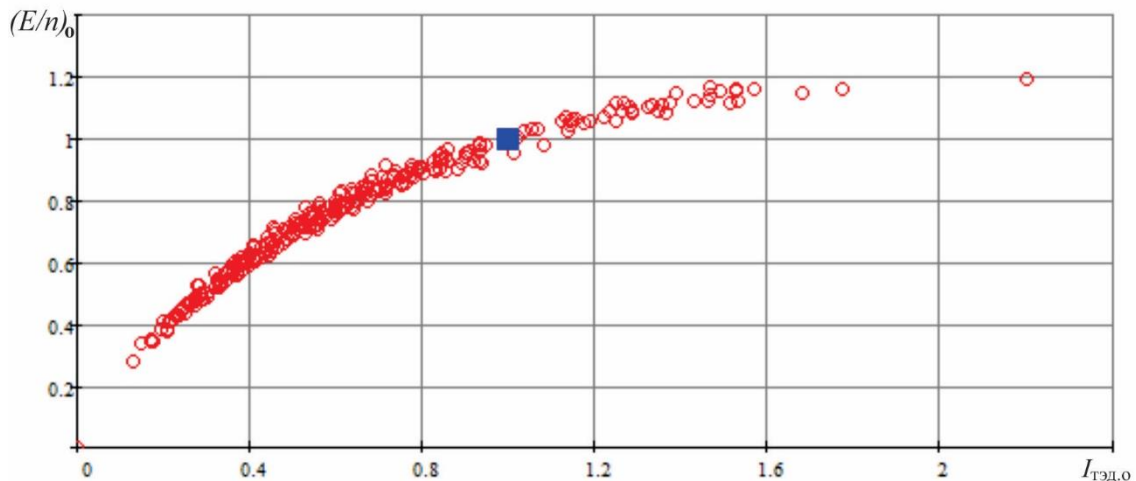


Рис. 1. Безразмерные характеристики намагничивания серий тепловозов

Для аппроксимации по узловым точкам можно применить как полиномиальную зависимость, так и функцию в виде экспоненты. Полиномиальная зависимость представляет собой сумму значений функций различной степени в узловых точках. Точность аппроксимации определяется максимальной степенью полинома. Но даже, при высокой степени точности ее значение будет выполняться только в диапазоне узловых токов. Вне диапазона кривая из полинома может значительно расходиться с предполагаемой характеристикой, которая должна изменяться монотонно. В результате таких выводов аппроксимацию выполним экспоненциальной функцией вида:

$$f(x) = a \cdot e^{b \cdot x} + c. \quad (8)$$

В Mathcad имеется стандартная функция $\text{exrfit}(vx, vy, [vg])$. Эта функция возвращает вектор, содержащий три коэффициента для экспоненциальной кривой формы $a \cdot \exp(b \cdot x) + c$, которая наилучшим образом аппроксимирует

данные в vx и vy . Функция exrfit использует метод Левенберга - Марквардта для минимизации ошибок. При этом vx и vy - это парные наборы токов $I_{\text{во}}$ и величин $(E/n)_o$. Массив $[vg]$ – необязательный трехэлементный вектор реальных предполагаемых значений параметров a , b и c в экспоненциальном уравнении. Применение данной функции к набору значений на рис. 1 при $vg = [-1 \ 1 \ 1]^T$ дает значения для $a = -1,196$, $b = -1,696$, $c = 1,22$, а аппроксимирующая функция для $(\frac{E}{n})_o$ выглядит следующим образом:

$$(E/n)_o(I_{\text{во}}) = 1,22 - 1,196 \cdot e^{-1,696 \cdot I_{\text{во}}}. \quad (9)$$

Задавшись рядом значений $I_{\text{во}}$, рассчитаем функцию (9) и получим следующую таблицу.

Зависимость относительного $(E/n)_o$ от относительного тока возбуждения $I_{\text{во}}$ приведена в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1

Безразмерная магнитная характеристика

$I_{\text{во}}$	0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.7	2.2
$(E/n)_o$	0	0.121	0.21	0.368	0.613	0.788	0.912	1.0	1.064	1.109	1.153	1.191

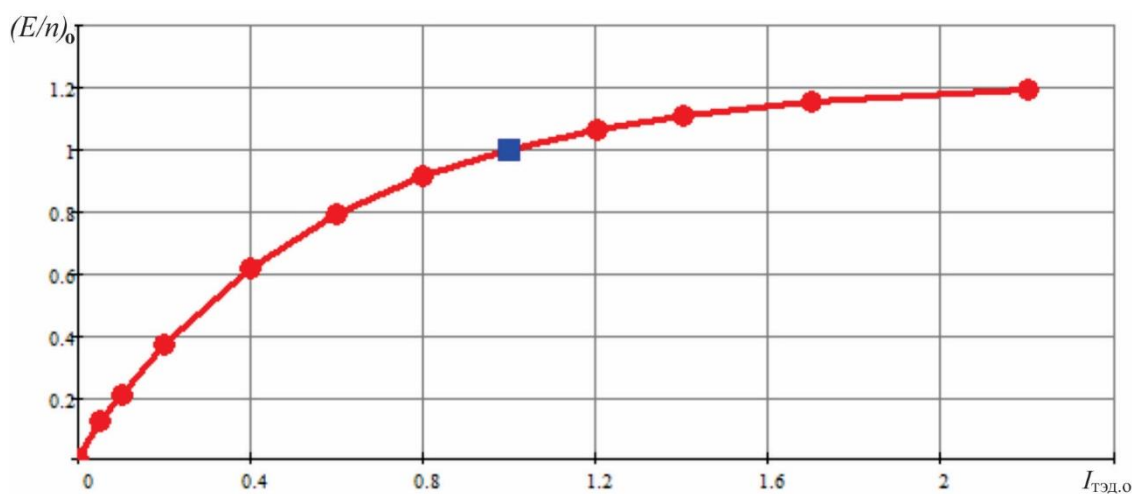


Рис. 2. Безразмерная характеристика намагничивания

Приведем пример использования полученной характеристики намагничивания

для тепловоза 2ТЭ116УП, для которого [1]: потребляемая мощность ТЭД типа ЭД-133 У1

$P_1 = 400,5$ кВт; мощность на валу $P_2 = 365$ кВт; номинальное напряжение $U_{\text{ТЭД,н}} = 450$ В, ток $I_{\text{ТЭД,н}} = 890$ А и частота вращения вала $n_{\text{ТЭД,н}} = 532$ об/мин, суммарное сопротивление нагретых обмоток двигателя $R_{\Sigma} = 0,036$ Ом; падение напряжения на щетках ТЭД $U_{\text{щ}} = 2$ В; степени ослабления магнитного потока $\alpha = [1 \ 0,64 \ 0,41]^T$.

Используя номинальные значения параметров определим: $E_{\text{ТЭД,н}} = U_{\text{ТЭД,н}} - I_{\text{ТЭД,н}} \cdot R_{\Sigma} - U_{\text{щ}} = 450 - 890 \cdot 0,036 - 2 = 416,3$ В, $(E/n)_{\text{н}} = E_{\text{ТЭД,н}}/n_{\text{ТЭД,н}} = 416,3/532 = 0,782$ В/(об/мин).

Учитывая, что реальные значения $I_{\text{ТЭД}} = I_0 \cdot I_{\text{ТЭД,н}}$ и $(E/n) = (E/n)_0 \cdot (E/n)_{\text{н}}$, выражение (8) получим в следующем виде:

$$f(x) = (E/n)_{\text{н}} \cdot (a \cdot e^{b \cdot I_{\text{ТЭД,н}} \cdot x} + c). \quad (10)$$

или

$$\begin{aligned} (E/n)(I_{\text{В}}) &= 416,3 \\ &\cdot (1,22 - 1,196 \\ &\cdot e^{-1,696890 \cdot I_{\text{В}}}) \\ &= 0,955 - 0,936 \cdot e^{-0,0019 \cdot I_{\text{В}}}. \end{aligned} \quad (11)$$

Для дальнейшего использования, учитывая, при полном поле $I_{\text{ТЭД}} = I_{\text{В}}$ построим $(E/n)(I_{\text{В}}) = f(I_{\text{В}})$ для следующих величин токов (табл. 2 и рис. 3).

Таблица 2

Универсальная характеристика

$I_{\text{ТЭД}}, \text{А}$	0	100	200	400	500	600	700	800	900	1000
$(E/n), \text{В} \cdot \text{мин}^{-1}$	0	0,181	0,315	0,518	0,594	0,656	0,708	0,751	0,786	0,815
$I_{\text{ТЭД}}, \text{А}$		1100	1200	1300	1600	1900				
$(E/n), \text{В} \cdot \text{мин}^{-1}$		0,84	0,86	0,876	0,91	0,93				

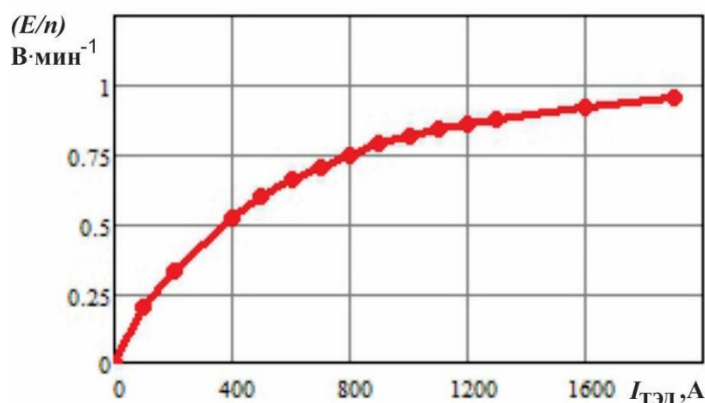


Рис. 3. Универсальная характеристика намагничивания

Покажем сравнение полученной универсальной характеристики с известными ЭМХ [1] на примере тепловоза 2ТЭ116УП, для которого $I_{\text{ТЭД,н}} = 890$ А, $(E/n)_{\text{н}} = 0,782$ В/(об/мин). Приведем известные ЭМХ в виде распечаток из Mathcad:

$$\begin{aligned}
 Id &= \begin{pmatrix} 500 \\ 533 \\ 600 \\ 700 \\ 750 \\ 800 \\ 890 \\ 1000 \\ 1100 \end{pmatrix} & Ud &= \begin{pmatrix} 801 \\ 751.4 \\ 667.5 \\ 572.1 \\ 534 \\ 500.6 \\ 450 \\ 400.5 \\ 364.1 \end{pmatrix} & nd &= \begin{pmatrix} 1260 & 1745 & 2340 \\ 1176 & 1555 & 2100 \\ 975 & 1310 & 1720 \\ 774 & 1010 & 1350 \\ 690 & 900 & 1160 \\ 630 & 810 & 1005 \\ 532 & 675 & 825 \\ 440 & 550 & 665 \\ 380 & 466 & 570 \end{pmatrix} & Md &= \begin{pmatrix} 2.77 & 2 & 1.49 \\ 2.96 & 2.24 & 1.66 \\ 3.58 & 2.66 & 2.03 \\ 4.5 & 3.45 & 2.58 \\ 5.05 & 3.87 & 3 \\ 5.53 & 4.3 & 3.47 \\ 6.55 & 5.16 & 4.23 \\ 7.92 & 6.34 & 5.24 \\ 9.17 & 7.48 & 6.12 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Id , Ud , nd , Md – значения токов и напряжений якоря ТЭД типа ЭД-133, частоты вращения вала и момента на валу. По этим значениям вычислим электродвижущую силу $E_{тэд}$ и величины (E/n) по выражениям (3, 4).

$$Id = \begin{pmatrix} 500 \\ 533 \\ 600 \\ 700 \\ 750 \\ 800 \\ 890 \\ 1000 \\ 1100 \end{pmatrix} \quad e_{nd} = \begin{pmatrix} 0.62 & 0.449 & 0.335 \\ 0.621 & 0.471 & 0.349 \\ 0.661 & 0.493 & 0.376 \\ 0.704 & 0.542 & 0.407 \\ 0.732 & 0.564 & 0.439 \\ 0.746 & 0.584 & 0.472 \\ 0.782 & 0.621 & 0.511 \\ 0.825 & 0.666 & 0.554 \\ 0.85 & 0.701 & 0.578 \end{pmatrix}$$

Аналогично для токов Id из ЭМХ определим значения $(E/n) = f(I_B) = f(Id \cdot \alpha)$ (12) с помощью аппроксимирующей функции (11) $(E/n)_o(I_B) = 0,955 - 0,936 \cdot e^{-0,0019 \cdot I_{Bo}}$. Получим:

$$e_n = \begin{pmatrix} 0.594 & 0.446 & 0.321 \\ 0.616 & 0.466 & 0.338 \\ 0.656 & 0.504 & 0.369 \\ 0.708 & 0.556 & 0.413 \\ 0.73 & 0.58 & 0.434 \\ 0.751 & 0.602 & 0.454 \\ 0.783 & 0.639 & 0.488 \\ 0.815 & 0.678 & 0.526 \\ 0.84 & 0.71 & 0.558 \end{pmatrix}$$

Для сравнения изобразим в одной системе координат графики зависимостей $(E/n) = f(I_B)$ по (11), рассчитанные с помощью универсальной характеристики (кружки), по заданным ЭМХ (сплошные кривые) при различных степенях ослабления поля (рис. 4) и

УМХ – пунктиром. Максимальная относительная погрешность для этого тепловоза результатов вычислений составляет 5,07% и обусловлена погрешностями замеров при снятии ЭМХ.

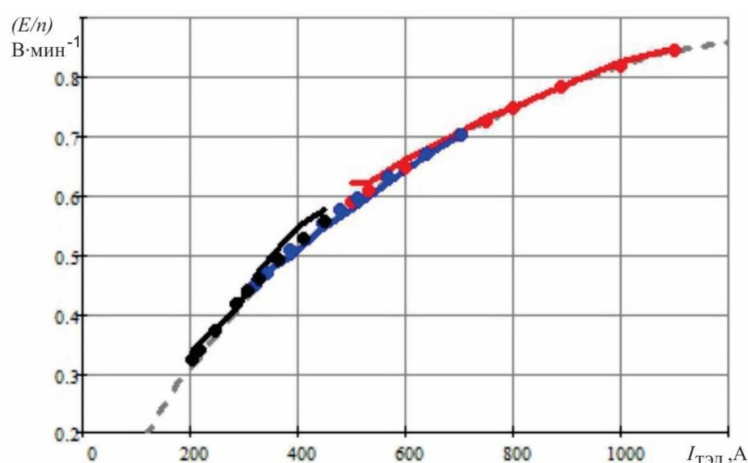


Рис. 4. Зависимости $(E/n) = f(I_{\text{ср}})$ по ЭМХ [1,2] (сплошные) и с использованием универсальной характеристики (кружки) и пунктиром – УМХ

Выводы.

1. Предложена методика получения безразмерной и универсальной магнитных характеристик и их использования.

2. Максимальная относительная погрешность результатов вычислений для выбранного тепловоза 2ТЭ116УП составляет 5,07% и обусловлена погрешностями замеров при снятии ЭМХ.

3. Применение универсальной магнитной характеристики для расчета тяговых характеристик тепловозов позволяет исключить наличие большого количества цифровых исходных данных в виде электромеханических или нагрузочных характеристик, а свести расчеты к простому выражению (11).

4. Использование предложенных характеристик позволяет получить данные для рационального выбора конструктивных параметров тяговых передач при проектировании и модернизации тепловозов и при моделировании динамических процессов при исследованиях движения локомотива с составом. Также полезны и учебных целях при изучении соответствующих дисциплин.

Список источников

1. Электрические передачи локомотивов / Э.Х. Тасанг, В.В. Быкадоров, О.В. Воронов, А.С. Ключев, Е.И. Иванова, О.В. Мокшина, - Изд. 3-е, перераб. и доп. - Воронеж: Изд-во филиала РГУПС в г. Воронеж, 2023. - 428 с.ил. 166, библ. 72 назв.

2. Расчет тягово-энергетических характеристик тепловозов: монография / Э.Х. Тасанг, В.М. Новиков, О.В. Воронов, Ю.Э. Ладик – Воронеж: Изд-во филиала РГУПС в г. Воронеж, 2018. – 371 с., ил. 166, библ. 71 назв.

3. Гаккель Е.Я. Проектирование и расчет электрической передачи тепловоза / Е.Я. Гаккель, К.И. Рудая. – М.: Транспорт, 1972. – 152 с.

4. Конструкция и динамика тепловозов / Под ред. В.Н. Иванова. – М.: Транспорт, 1974. – 336 с.

5. Конструкция, расчет и проектирование локомотивов: Учеб. для студ. вузов / Под ред. А.А. Камаева. – М.: Машиностроение, 1981. – 351 с.

6. Луков Н.М. Передачи мощности тепловозов / Н.М. Луков, В.В. Стрекопытов, К.И. Рудая; Под ред. Н.М. Лукова. – М.: Транспорт, 1987. – 279 с.

7. Электрические передачи переменного тока тепловозов и газотурбовозов / А.Д. Степанов, В.И. Андрес, В.А. Пречисский, Ю.Н. Гусевский. – М.: Транспорт, 1982. – 254 с.

8. Загорский М.В., Никифоров Н.И. Прогнозирование тяговых качеств на стадии проектирования экипажной части локомотива. Сб. научн. трудов. Брянский гос. техн. ун-т. Брянск: Изд-во БГТУ, 2000. – С. 16-22.

9. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2008. – 320 с.: ил.

References

1. Electric transmissions of locomotives / E.Kh. Tasang, V.V. Bykadorov, O.V. Voronov, A.S. Klyuev, E.I. Ivanova, O.V. Mokshina, - Ed. 3rd, revised and additional – Voronezh: Publishing house

of the branch of RGUPS in Voronezh, 2023. - 428 pp. 166, bib. 72 titles

2. Calculation of traction and energy characteristics of diesel locomotives: monograph / E.Kh. Tasang., V.M. Novikov, O.V. Voronov, Yu.E. Ladik - Voronezh: Publishing house of the branch of the Russian State University of Public Relations in Voronezh, 2018. - 371 p., ill. 166, bib. 71 titles

3. Gakkel E.Ya. Design and calculation of electric transmission of a diesel locomotive / E.Ya. Gakkel, K.I. Rudaya. - M.: Transport, 1972. - 152 p.

4. Design and dynamics of diesel locomotives / Ed. V.N. Ivanova. - M.: Transport, 1974. - 336 p.

5. Construction, calculation and design of locomotives: Textbook. for students universities / Ed. A.A. Kamaeva. - M.: Mashinostroenie, 1981. - 351 p.

6. Lukov N.M. Power transmission of diesel locomotives / N.M. Lukov, V.V. Strekopytov, K.I.

Rudaya; Ed. N.M. Lukova. - M.: Transport, 1987. - 279 p.

7. Electrical transmissions of alternating current of diesel locomotives and gas turbine locomotives / A.D. Stepanov, V.I. Andres, V.A. Prechissky, Yu.N. Gusevsky. - M.: Transport, 1982. - 254 p.

8. Zagorsky M.V., Nikiforov N.I. Prediction of traction qualities at the design stage of the locomotive undercarriage. Sat. scientific works Bryansk state tech. univ. Bryansk: BSTU Publishing House, 2000. - P. 16-22.

9. Voldek A.I., Popov V.V. Electric cars. Introduction to electromechanics. DC machines and transformers: Textbook for universities. - St. Petersburg: Peter, 2008. - 320 pp.: ill.

Статья поступила в редакцию 10.06.2024

Информация об авторах

Тасанг Эрик Хельмутович, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: tasang24055@mail.ru

Быкадоров Вадим Викторович, кандидат технических наук, доцент, директор института «Транспорт и логистика» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: bykadorov19.09@mail.ru

Клюев Александр Семёнович, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: aklyev1954@gmail.com

Иванова Елена Ивановна, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: eleandra1@mail.ru

Ливцов Юрий Владимирович, кандидат технических наук, заведующий кафедры «Железнодорожный транспорт» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: liwtsoff@yandex.com

Information about the authors

Tasang Erik Helmutovich, senior lecturer of the «Railway transport» Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: tasang24055@mail.ru

Bykadorov Vadim Viktorovich, candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Transport and Logistics Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: bykadorov19.09@mail.ru

Klyuev Alexander Semenovich, senior lecturer of the «Railway transport» Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: aklyev1954@gmail.com

Ivanova Elena Ivanovna, senior lecturer of the «Railway transport» Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: eleandra1@mail.ru

Livtsov Yuri Vladimirovich, candidate of Technical Sciences, head of the Department of «Reillway transport» Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: liwtsoff@yandex.com

Для цитирования:

Тасанг Э.Х., Быкадоров В.В., Ключев А.С., Иванова Е.И., Ливцов Ю.В. Расчет универсальной магнитной характеристики для тяговых электродвигателей тепловозов // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 7 (85). – С. 74-82.

For citations:

Tasang E.H., Bykadorov V.V., Klyuev A.S., Ivanova E.I., Livtsov Yu.V. Calculation of the universal magnetic characteristic for traction electric motors of diesel locomotives // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 7 (85). – P. 74-82.

УДК 621.878.4/879.3:620.178.1

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЗУБЬЕВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ И ПОГРУЗЧИКОВ

Шовкопляс А. В.

WEAR RESISTANCE OF TEETH OF WORKING BODIES OF SINGLE-BUCKET EXCAVATORS AND LOADERS

Shovkoplias A. V.

Аннотация. На одноковшовых экскаваторах и погрузчиках используются унифицированные, отличающиеся лишь размерами козырьки ковшей и зубья, в зависимости от вместимости ковша. В соответствии с выполняемыми работами могут использоваться ковши с зубьями или без зубьев. Основные параметры зубьев и их расположение на передней стенке ковша устанавливаются в зависимости от объема ковша.

Пропорционально выработке машины геометрические параметры зубьев изменяются – угол заострения увеличивается, т. е. острие зубьев затупляется, увеличивается площадь износа и, как следствие, сопротивление копанью. Вследствие неоднородности грунта, неравномерной толщины стружки изменяется нагрузка на козырек и зубья ковша. Характер изменения нагрузки на зуб ковша экскаватора определяется типом привода – механическим или гидравлическим.

Износ зубьев ковшей одноковшовых экскаваторов и рабочей плоскости козырька зависит от ряда факторов: давления и характера его действия на рабочую поверхность, абразивной способности грунта, характеристики износостойкости материалов и др.

Для уменьшения изнашивания зубьев производится их наплавка электродами Т-590, Т-620 на передней и задней плоскостях. Наилучшие результаты дает наплавка на переднюю плоскость зубьев, обеспечивая наименьшую скорость изнашивания при одновременном самозатачивании. Снизить износ можно уменьшением величины нагрузки и характера ее действия. Долговечность зубьев может быть повышена за счет технологии изготовления – температуры заливки, времени выдержки в печи, объемного упрочнения, увеличения содержания фосфора, легирования ванадием и титаном и пр. Увеличить износостойкость зубьев можно, применяя для их изготовления легированные стали с бейнитной структурой после термической обработки. Использование армированных коронок также способствует повышению износостойкости зубьев.

Понижение температуры окружающей среды в значительной степени снижает износостойкость зубьев..

Ключевые слова: ковш, зуб, козырек, износ, износостойкость, долговечность, наплавка.

Abstract. Single-bucket excavators and loaders use unified bucket canopies and teeth, which differ only in size, depending on the bucket capacity. Buckets with or without teeth can be used according to the work performed. The main parameters of the teeth and their location on the front wall of the bucket are set depending on the volume of the bucket.

In proportion to the development of the machine, the geometric parameters of the teeth change – the angle of sharpening increases, i.e. the tip of the teeth is blunted, the wear area increases and, as a result, the

resistance to digging. Due to the heterogeneity of the soil, uneven chip thickness, the load on the visor and bucket teeth changes. The nature of the load change on the excavator bucket tooth is determined by the type of drive – mechanical or hydraulic.

The wear of the bucket teeth of single-bucket excavators and the working plane of the visor depends on a number of factors: pressure and the nature of its effect on the work surface, the abrasive ability of the soil, the characteristics of wear resistance of materials, etc.

To reduce the wear of the teeth, they are surfaced with electrodes T-590, T-620 on the front and rear planes. The best results are achieved by surfacing on the front plane of the teeth, providing the lowest wear rate while self-sharpening. Wear can be reduced by reducing the magnitude of the load and the nature of its action. The durability of the teeth can be increased due to the manufacturing technology – pouring temperature, holding time in the furnace, volumetric hardening, increased phosphorus content, alloying with vanadium and titanium, etc. It is possible to increase the wear resistance of the teeth by using alloy steels with a bainite structure after heat treatment for their manufacture. The use of reinforced crowns also helps to increase the wear resistance of the teeth.

Lowering the ambient temperature significantly reduces the wear resistance of the teeth.

Key words: bucket, tooth, visor, wear, wear resistance, durability, surfacing

Введение. Одноковшовые экскаваторы применяются при разработке немерзлых грунтов с I по IV категории и предварительно разрыхленных скальных и мерзлых грунтов. Одноковшовые погрузчики находят применение при разработке карьерных сыпучих и мелкокусковых материалов, при послойной разработке грунта, перемещении его и отсыпки в отвал, а также при выполнении погрузочно-разгрузочных и транспортных работ с различными сыпучими материалами [8].

На одноковшовых экскаваторах конструкции козырьков ковшей и зубьев, непосредственно соприкасающихся с грунтом при копании, в значительной степени унифицированы и в разных моделях экскаваторов различаются лишь размерами. В применяемых ковшах без зубьев основной рабочей частью является козырек, изготавливаемый из стали 35ГЛ или 25Л. Передняя кромка козырька выполнена с износостойкой наплавкой. Зубья ковша устанавливают в гнезда ковша хвостовой частью, имеющей конусообразную форму.

Расстояние между зубьями ковша в зависимости от его типоразмера равно 140-375 мм, что составляет $(2,0-2,8) \cdot b_p$ (b_p – ширина рабочей части зуба). На одноковшовых погрузчиках применяют ковши без зубьев и с зубьями вилочного типа. Такие зубья

устанавливают на козырьке ковша и закрепляют болтами. Козырьки изготавливают из стального проката (сталь 15ХСНД). Для крепления к козырьку применяют зубья с одной и двумя плоскостями, которые для более плотного прилегания обрабатывают на станке [1, 9].

Для одноковшовых экскаваторов А. С. Ребровым установлены основные параметры зубьев и правила их закрепления на передней стенке ковша:

1) зубья ковшей устанавливаются в самих углах передней стенки, чтобы исключить из процесса копания боковые стенки ковша;

2) головная часть зуба должна быть шире всей остальной части зуба; конусность зуба должна быть не менее 2° с каждой стороны;

3) ширину рабочей части зуба следует определять по выражению $b_p = 0,11 \cdot \sqrt[3]{V}$, (где V – вместимость ковша);

4) расстояние между зубьями должно быть равно $(2,5...2,8) \cdot l_p$, длина рабочей части зуба

$l_p = (0,25...0,30) \cdot \sqrt[3]{V}$, чтобы исключить переднюю стенку ковша из процесса копания;

5) первоначальный радиус заострения зуба следует определять по выражению $r_3^3 = 0,615 \cdot \sqrt[3]{V}$.

В ряде случаев на одноковшовых погрузчиках расстояние между зубьями принимают равным $(3,5...4,1) \cdot b_p$, что не облегчает условия копания; на некоторых ковшах погрузчиков зубья устанавливают, отступив на 100-150 мм от угловой части козырька.

Материалы и методы. Опыт эксплуатации показывает, что через 500 мото-часов работы износ козырька ковша составляет 70 мм, а через 1900 мото-часов – 140 мм. Скорость изнашивания козырька находится в пределах 40-60 мкм/ч и зависит от характера разрабатываемых грунтов, а также материала, из которого он изготовлен. Полный износ зубьев, как отмечал Ю. А. Ветров, наступает уже после выработка 30-35 тыс. м³ песчано-щебеночных грунтов. При этом угол заострения зуба увеличивается в 2,0-2,5 раза, достигая 65-70° вместо 26° у нового зуба, а рабочая длина уменьшается в 3-4 раза. На рис. 1 показаны места наибольшего износа зубьев ковшей [4, 11].

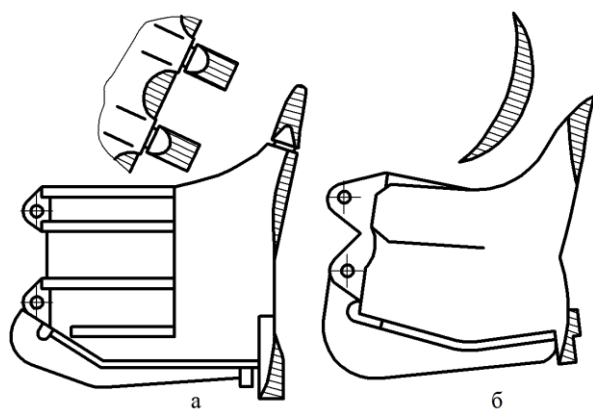


Рис. 1. Наиболее изнашиваемые места (заштрихованы) ковшей экскаваторов:

а – прямой лопаты с зубьями; б – прямой лопаты с козырьком

При копании на зубья ковша экскаватора передаются усилия, которые зависят, с одной стороны, от сопротивления грунта копанию, а с другой – от устойчивости машины. Продолжительность копания и длина пути трения зубьев о грунт зависят от вместимости ковша:

Вместимость ковша, м ³	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Пусть трения, м	90 0	105 0	130 0	145 0	160 0
Продолжительность работы, %	15	17	20	22	25

Приведенные данные позволяют определить работу трения.

Сопротивление грунта копанию зависит от свойств грунтов и состояния рабочей части зубьев [2]. Касательная составляющая сопротивления грунта копанию

$$P_{01} = \tau \cdot h_c \cdot (B_k + h_c) \cdot (0,53 + 0,015 \cdot \alpha) + \sigma \cdot (z \cdot n \cdot b_p + f \cdot y \cdot n \cdot b_p), \quad (1)$$

где τ – максимальная прочность грунта на срез, кПа; h_c – толщина стружки, см; B_k – ширина ковша, см; α – передний угол зуба, 0°; σ – максимальная прочность грунта на смятие, кПа; f – коэффициент трения стали о грунт; n – число зубьев; b_p – ширина зуба, см; z , y – проекции зоны износа, см.

С течением времени острие зуба затупляется, увеличиваются площадка износа и сопротивление копанию. Это можно учитывать коэффициентом $K_y = 1 + 0,44 \cdot y$, где y – проекция площадки износа.

Нагрузка на рабочую часть ковша (kozyрьки, зубья) изменяется вследствие неоднородности грунта, неодинаковой толщины стружки и др. Исследованиями установлено, что период основных колебаний нагрузки находится в пределах 0,2-0,7 с, а период колебаний второй частоты (флуктуации) меньше в 4-8 раз [3, 6]. Такой характер действия нагрузки вызывает интенсивное изнашивание рабочей части зубьев. Характер изменения нагрузки на зуб ковша зависит от типа привода экскаватора. Частота изменения составляет 1,5-3,0 с, а величина $\pm 8-5$ кН (первые цифры для экскаваторов с механическим приводом, вторые – с гидравлическим).

Проведенные исследования позволили выявить действительные условия работы зубьев, что позволило обеспечить реальные

условия нагружения при стендовых исследованиях на изнашивание.

Результаты и обсуждения. В процессе работы изменяются основные параметры зуба: его рабочая длина, угол заострения, площадка износа. Эти параметры изменяются пропорционально выработке машины (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость рабочей длины зуба от выработки

Выработка, тыс. м ³	Длина зуба, мм	Износ, мм
-	225	0
5 000	195	20
10 000	190	30
15 000	183	37
20 000	170	50
25 000	162	62
30 000	145	75
35 000	125	88
40 000	115	98

У зубьев с наплавкой электродами Т-590, Т-620 на передней и задней плоскостях изнашивание происходит сравнительно медленно, но зуб имеет большое затупление (рис. 2, б); у зубьев с наплавкой на задней

плоскости – более интенсивно, но большое затупление сохраняется (рис. 2, в); зубья с наплавкой на передней плоскости имеют наименьшую скорость изнашивания, при этом происходит также самозатачивание (рис. 2, г).

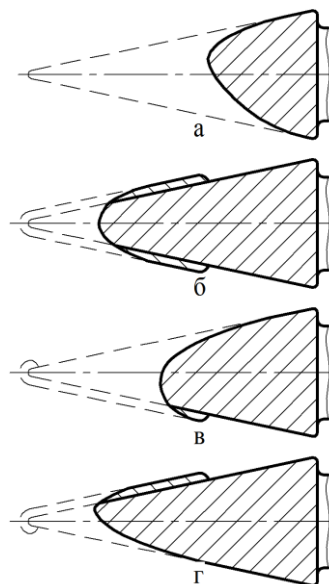


Рис. 2. Характер изменения формы зуба в зависимости от места нанесения износостойкой наплавки:

а – без наплавки; б – наплавка по двум плоскостям; в – наплавка по задней плоскости; г – наплавка по передней плоскости

Таблица 2

Скорость изнашивания зуба в зависимости от места нанесения наплавки

Показатель	Поверхность, защищаемая наплавкой			
	без покрытия	обе плоскости	задняя	передняя
Продолжительность испытаний, мото-час	690	650	770	670
Износ, мм	110-115	45-55	56-68	45-51
Скорость изнашивания, мкм/ч	144-167	69-84	97-121	67-76

Влияние нагрузки и характер ее действия было установлено при проведении испытаний зубьев, изготовленных из стали 110Г13Л.

Уменьшение нагрузки на 10 % приводит к уменьшению износа на 20 %.

При нагружении поверхностей трения по экскаваторному режиму работы скорость изнашивания в 1,5 раза больше, чем при работе с постоянной нагрузкой. В основном увеличение износа (на 40 %) вызывается изменением действия нагрузки. С

уменьшением частоты изменения нагрузки с 3 до 1 с-1 износ уменьшается на 10-11 %. Уменьшение нагрузки с ± 10 до ± 5 МПа приводит к снижению износа на 12-14 %. Суммарное уменьшение нагрузки и частоты ее изменения позволяет уменьшить износ зубьев на 20-24 %. Влияние характера действия нагрузки на скорость изнашивания определяется коэффициентами K_{p0} и K_{vp0} .

По данным исследований давление и частота его изменения колеблются: $p_0 = \pm(2-5)$

МПа; $fr_0 = (1-3) \text{ с}^{-1}$. При p_0 , равном 0, 1, 3, 5 МПа, значения K_{p0} будут составлять соответственно 0,6; 1,0; 2,2; 3,0; при vr_0 , равном 0, 1, 2, 3 с^{-1} , значения K_{vr0} будут соответственно равны 0,60; 0,98; 1,16; 1,54. Все мероприятия, уменьшающие динамику системы привода и управления, в частности автоматизация процесса копания, приводят к увеличению срока службы зубьев.

Абразивные свойства грунтов в значительной степени зависят от влажности, поэтому все испытания проводят на грунтах нормальной (естественной) влажности 10-12 %.

Долговечность зубьев, изготовленных из литых сталей, например, из стали 110Г13Л, в значительной степени зависит от технологии изготовления. В зависимости от температуры заливки износостойкость может изменяться на 40 %.

Повышение долговечности зуба при увеличении времени выдержки в печи объясняется более полным растворением карбидов и выравниванием концентрации углерода и марганца по всему объему зерна аустенита. Увеличение выдержки зубьев более 5 ч уменьшает их износостойкость вследствие некоторого укрупнения зерен аустенита [5, 6].

Применение объемного упрочнения проплавлением основного металла плазменной горелкой с одновременным легированием присадочным материалом – электродами Т-590, Т-620 – позволяет увеличить износостойкость зуба из стали 110Г13Л в 1,5-3,0 раза [7].

Увеличение содержания фосфора в стали 110Г13Л на каждые 0,01 % снижает предел текучести на 147-196 кПа; сокращение содержания фосфора до 0,06 % увеличивает износостойкость в 1,7-2,2 раза. Применение вместо доменного ферромарганца МР-1 металлического марганца увеличивает износостойкость. Добавка 0,2 % титана в 1,5 раза повышает износостойкость. Износостойкость стали 110Г13Л, выплавленной методом окисления, в 1,3 раза выше, а стоимость всего в 1,05 раза больше.

Увеличение присадки ванадия и введение карбидообразующих присадок ванадия и титана

увеличивает износостойкость стали 110Г13Л. Оптимальной присадкой следует считать 0,5-0,7 % ванадия и 0,04-0,07 % титана. На износостойкость стали 110Г13Л, модифицированной добавками ванадия и титана, влияют условия выплавки. Зашлакованность стали уменьшает износостойкость. Упрочнение взрывом повышает износостойкость зубьев более эффективно, чем легирование присадками ванадия и титана. Наибольший эффект получается в результате совместного действия дополнительного легирования и упрочнения взрывом.

Применение легированных сталей позволяет в 1,5-2,0 раза увеличить износостойкость. После термической обработки стали Г13М2, Г8Х5, Г85Т имеют аустенитную структуру с рассредоточенными дисперсными карбидами молибдена, хрома, титана; сталь ГХ2М имеет бейнитную структуру, а сталь 30ГХ2 – перлитную.

Высокая износостойкость стали 30ГХ2М (в 2 раза превышающая стойкость стали 110Г13Л) обусловлена ее бейнитной микроструктурой, высокой твердостью и высокой механической прочностью. Ударная вязкость испытанных сталей оказалась достаточной, и поломок зубьев не наблюдалось.

Эксплуатационная стойкость армированных коронок также в 2 раза превышала стойкость коронок из стали 110Г13Л. Основную роль здесь сыграли твердые пластинки из мартенситной стали Х6М. В процессе эксплуатации эти пластины не отслаивались и не выпадали.

Также было определено, что снижение температуры от +20°C до -10°C приводит к увеличению скорости изнашивания в 1,75 раза, а при дальнейшем снижении температуры до -40°C она увеличивается в 2,5-3,0 раза. Влияние температуры окружающей среды на скорость изнашивания следует учитывать коэффициентом $K_{t20} = (0,05...0,08) \cdot t_{\Phi}$, где t_{Φ} – фактическая температура [10].

Выводы. Износ зубьев ковшей одноковшовых экскаваторов и рабочей

плоскости козырька зависит от ряда факторов: давления и характера его действия на рабочую поверхность, абразивной способности грунта, характеристики износостойкости материалов и др.

С учетом этого скорость изнашивания зуба ковша (или коронки и козырька):

$$\gamma = \left(A \cdot p \cdot K_{p0} \cdot K_{v p0} \cdot f \cdot s \cdot t_p \cdot K_y \cdot \frac{K_{ABP}}{K_{ИЗН}} \right) \cdot K_{t20}, \quad (2)$$

где A – коэффициент пропорциональности, МПа^{-1} ; p – давление на рабочей поверхности зуба; K_{p0} – коэффициент, учитывающий влияние изменения давления; $K_{v p0}$ – коэффициент, учитывающий влияние частоты изменений давления; f – коэффициент трения; t_p – продолжительность копания за 1 мото-час; s – путь трения зуба за 1 мото-час; K_y – коэффициент, учитывающий затупление зуба; K_{ABP} – коэффициент абразивности грунта; $K_{ИЗН}$ – коэффициент износостойкости; K_{t20} – коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды.

Ресурс зуба ковша экскаватора (в мото-часах):

$$t_H = U_D \cdot \gamma, \quad (3)$$

где U_D – допустимый износ зуба, мм; γ – скорость изнашивания, мкм/ч.

Допустимый износ зуба может быть принят равным половине его рабочей длины, т. е. $U_D = 0,5 \cdot l_p$.

Список источников

1. Бессараб Г.А., Язов В.Н., Суворов Н.А., Артемьев В.В. Дорожно-строительные машины. – СПб.: СПб ГЛТУ, 2010. – 132 с.
2. Браун Э.Д., Евдокимов Ю.А., Чичинадзе А.В. Моделирование трения и изнашивания в машинах. – М.: Машиностроение, 1982. – 191 с.
3. Волков Д.П. Пути развития строительных машин и оборудования для открытых горных работ // Строительные и дорожные машины. – 1996. – № 4.

4. Дэлэг Д., Ванчинжав С., Пурэвдорж Н. Исследование самозатачивания зуба ковша экскаватора // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: 2008. – № S1. – С. 402-416.

5. Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для земляных работ. Основы теории разрушения грунтов, моделирование процессов, прогнозирование параметров. Под ред. А.Н. Зеленина. – М.: Машиностроение, 1975. – 422 с.

6. Карнаухов Н.Н., Мерданов Ш.М., Шефер В.В., Иванов А.А. Эксплуатация подъёмно-транспортных, строительных и дорожных машин. Строительные машины. – Тюмень: Тюменский ГНГУ, 2012. – 456 с.

7. Лукашук О.А., Комиссаров А.П., Летнев К.Ю. Машины для разработки грунтов. Проектирование и расчет. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 128 с. ISBN 978-5-7996-2386-9.

8. Нилов В.А., Жулай В.А. Машины для земляных работ. – М.: Инфра-Инженерия, 2024. – 220 с, ISBN 978-5-9729-1819-5.

9. Рейш А.К. Повышение износостойкости строительных и дорожных машин. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.

10. Слепченко В.А., Слепченко И.В. Машины для земляных работ. – Томск: ТГАСУ, 2021. – 204 с, ISBN 978-5-93057-960-4.

11. Шовкопляс А.В. Основные направления повышения износостойкости рабочих органов дорожно-строительных и подъемно-транспортных машин // Вестник Луганского университета имени Владимира Даля. Научный журнал. – Луганск: Луганский государственный университет имени Владимира Даля, 2021. – № 6 (48). – С. 242-246.

References

1. Bessarab G.A., Jazov V.N., Suvorov N.A., Artem'ev V.V. Road construction vehicles. Saint-Petersburg: St. Petersburg SFEU, 2010. 132 p.
2. Braun Je. D., Evdokimov Ju. A., Chichinadze A.V. Simulation of friction and wear in machines. Moscow: Mechanical Engineering, 1982. 191 p.
3. Volkov D.P. Ways of development of construction machinery and equipment for open-pit mining. *Construction and road vehicles*. 1996. №4.
4. Djeljeg D., Vanchinzhav S., Purjevdorzh N. Investigation of the self-sharpening of the excavator

bucket tooth. *Mining information and analytical bulletin*. Moscow: 2008. №S1. P. 402-416.

5. Zelenin A.N., Balovnev V.I., Kerov I.P. Machines for earthworks. Fundamentals of the theory of soil destruction, modeling of processes, forecasting of parameters. Edited by A.N. Zelenin. Moscow: Mechanical Engineering, 1975. 422 p.

6. Karnauhov N.N., Merdanov Sh. M., Shefer V.V., Ivanov A.A. Operation of lifting and transport, construction and road vehicles. Construction machines. Tyumen: Tyumen State Oil and Gas University, 2012. 456 p.

7. Lukashuk O.A., Komissarov A.P., Letnev K. Ju. Machines for soil development. Design and calculation. Ekaterinburg: Publishing house of the Ural University, 2018. 128 p, ISBN 978-5-7996-2386-9.

8. Nilov V.A., Zhulaj V.A. Machines for earthworks. Moscow: Infra-Engineering, 2024. 220 p, ISBN 978-5-9729-1819-5.

9. Rejsh A.K. Improving the wear resistance of construction and road vehicles. Moscow: Mechanical Engineering, 1986. 184 p.

10. Slepchenko V.A., Slepchenko I.V. Machines for earthworks. Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2021. 204 p, ISBN 978-5-93057-960-4.

11. Shovkoplias A.V. The main directions of increasing the wear resistance of the working bodies of road construction and lifting machines. *Bulletin of the Lugansk University named after Vladimir Dahl. Scientific journal*. Lugansk: Lugansk State University named after Vladimir Dahl, 2021. № 6 (48). – P. 242-246.

Статья поступила в редакцию 10.06.2024

Информация об авторах

Шовкопляс Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортная техника» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
SPIN-код: 9016-1815, AuthorID: 1176747
E-mail: silkdance@yandex.ru

Information about the authors

Shovkoplias Aleksandr, Candidate of Sciences (Eng.), associate professor of the Chair «Lifting and transport equipment» Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
SPIN-код: 9016-1815, AuthorID: 1176747
E-mail: silkdance@yandex.ru

Для цитирования:

Шовкопляс А.В. Износостойкость зубьев рабочих органов одноковшовых экскаваторов и погрузчиков // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 7 (85). – С. 83-89.

For citations:

Shovkoplias A.V. Wear resistance of teeth of working bodies of single-bucket excavators and loaders // *Bulletin of Lugansk State University named after Vladimir Dahl*. – 2024. – № 7 (85). – P. 83-89.

УДК 378.372.9.796

**ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУРЫ ЗДОРОВЬЯ У СТУДЕНЧЕСКОЙ
МОЛОДЕЖИ ВО ВНЕАУДИТОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ,
ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

Игнатова Т. А.

**FORMATION OF HEALTH CULTURE IN STUDENT
YOUTH IN EXTRACURRICULAR ACTIVITIES, PSYCHOLOGICAL
AND PEDAGOGICAL ASPECT**

Ignatova T. A.

***Аннотация.** Формирование культуры здоровья студентов является актуальной современной проблемой. Наблюдается рост значимости здоровья как инструментальной ценности. Выделены теоретические аспекты при изучении здоровья и формировании культуры здоровья студенческой молодежи. Представлены материалы опроса студентов методом анкетирования.*

***Ключевые слова:** здоровье, физическая культура, культура здоровья, студент.*

***Abstract.** Formation of students' health culture is an actual modern problem. There is an increase in the importance of health as an instrumental value. Theoretical aspects in the study of health and the formation of health culture of student youth are highlighted. Materials of students' survey by questionnaire method are presented.*

***Key words:** health, physical culture, health culture, student.*

Введение. В соответствии с современными тенденциями в области здравоохранения и образования, укрепление здоровья студентов является одним из приоритетных направлений в работе современных учебных заведений. Снижение двигательной активности, гипокинезия, гиподинамия и недостаточная физическая нагрузка – это только некоторые из факторов, которые негативно влияют на здоровье молодежи. Для преодоления этого негативного влияния и укрепления здоровья студентов преподавателям и администрациям учебных заведений необходимо разработать и реализовать эффективные программы физического воспитания и здоровья, которые бы включали в себя как традиционные

физические упражнения, так и новые формы, а также методы физической активности.

Кроме того, необходимо также обеспечить создание благоприятного окружения для здоровья студентов, включая доступ к спортивным и физическим ресурсам, здоровое питание, адекватный отдых и психологическую поддержку.

Укрепление здоровья студентов требует не только индивидуального подхода, но и координации усилий между администрацией, преподавателями, родителями и студентами. Только через совместное и системное междисциплинарное сотрудничество можно достичь эффективного результата в укреплении здоровья молодежи [2, с. 74].

Анализ последних исследований и публикаций. Проведенный анализ научной литературы (исследования С. В. Алексеева, Д. Г. Радченко, Ю. П. Кобякова и др.) позволил установить, что мотивация студентов к укреплению здоровья заключается в совокупности внутренних факторов, которые стимулируют студентов к систематическому использованию требований здорового образа жизни в своей повседневной жизни, включая занятия физическими упражнениями, рациональное питание, соблюдение правил гигиены и отказ от вредных привычек и т.д.

Физическая культура в нефизкультурных вузах достижима только тогда, когда ее виды отвечают принципам доступности и максимального привлечения молодежи, а предлагаемые физические нагрузки соответствуют уровню функциональных возможностей и состоянию здоровья каждого занимающегося [5, с. 118-119].

С. В. Алексеев констатирует, что в настоящее время характерным является понимание большой общенародной и личной ценности феномена физической культуры, осознание ее сущности как важнейшей составляющей общей культуры человека, обеспечивающей освоение данных ему природой возможностей физического совершенствования, повышения общей работоспособности, укрепления здоровья [4, с. 68].

Д. Г. Радченко указывает, что важным компонентом всестороннего воспитания студентов является разработка устойчивой мотивации для активного участия в различных видах физической культуры, стремление к здоровому образу жизни, поддержание хорошей физической формы и развитие профессиональных навыков [3, с. 78].

Ю.П. Кобяков доказывает взаимосвязь образа жизни и здоровья человека, что является своеобразным правилом для воспитания молодого поколения [1, с. 47].

Цель исследования. Целью исследования является выяснение влияния самостоятельных занятий физическими упражнениями на

формирование у студентов культуры здоровья. В этой области исследований есть определенная актуальность, так как физическая активность и здоровье являются важными компонентами качественной жизни, а у студентов, в частности, есть тенденция к снижению физической активности из-за интенсивной учебной нагрузки и других факторов.

В исследованиях, проведенных за последние годы, было установлено, что физические упражнения могут позитивно влиять на формирование культуры здоровья у студентов. Физическая активность может улучшить физическое состояние, психическое здоровье, социальное благополучие и когнитивные функции. Кроме того, физические упражнения могут помочь студентам в образовании навыков самоорганизации, контроля над своим здоровьем и адаптации к изменяющимся условиям жизни.

В свою очередь самостоятельные занятия физическими упражнениями могут быть более эффективными, чем занятия в группе, в плане формирования культуры здоровья у студентов. Самостоятельные занятия физическими упражнениями могут помочь студентам в установлении здоровых привычек, улучшении самооценки и более эффективном использовании свободного времени.

В целом исследование может помочь в понимании влияния самостоятельных занятий физическими упражнениями на формирование культуры здоровья у студентов и может быть использовано для разработки эффективных программ физической активности для студентов.

Материалы и методы. Преподаватели кафедры физического воспитания в учреждении высшего образования играют важную роль в формировании физической культуры и здоровья студентов. Они могут использовать различные методы и формы для стимулирования студентов к физическим упражнениям в свободное время, включая:

1. Учебные занятия: преподаватели могут проводить тренировки, игры и другие

физические упражнения в рамках учебного плана, чтобы помочь студентам достичь физической подготовки и развить навыки.

2. Самостоятельные занятия: преподаватели могут рекомендовать студентам отдельные упражнения или программы физических упражнений, которые они могут выполнять в свободное время, чтобы достичь своих целей и улучшить физическое состояние.

Преподаватели также могут использовать технологии и интерактивные методы для стимулирования студентов к физическим упражнениям, такие как:

* Веб-ресурсы и онлайн-курсы физической подготовки;

* Мобильные приложения для записи и отслеживания физических упражнений;

* Онлайн-тренинги и вебинары по физической подготовке;

* Социальные сети для связывания студентов и стимулирования физических упражнений.

Задача преподавателей кафедры физического воспитания в учреждении высшего образования – помочь студентам развить физическую культуру, здоровье и навыки, а также стимулировать их к физическим упражнениям в свободное время.

В связи с этим нами было проведено анкетирование «Ваш спортивный досуг» с целью выяснения, какие виды деятельности наиболее часто осуществляют студенты для поддержания собственного здоровья. В опросе приняли участие 234 студентов I-III курсов Луганского государственного университета

имени Владимира Даля (экспериментальная группа (ЭГ) – 117 чел. и контрольная группа (КГ) – 117 чел.).

Результаты и обсуждения. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что среди видов деятельности, которые студенты осуществляют постоянно во время своего спортивного досуга, доминируют отдых на природе (ЭГ – 15%, КГ – 15,5%), туристические походы (ЭГ – 12,3%, В КГ – 13%), прогулки пешком в свободное время (ЭГ – 12,3%, КГ – 12,2%). Среди видов деятельности, которые студенты осуществляют для поддержания собственного здоровья постоянно, согласно результатам опроса указываются физические упражнения (ЭГ – 11%, КГ – 10,4%), занятия на тренажерах (ЭГ – 10,8%, КГ – 10,4%), соблюдение диеты, оздоровительное голодание (ЭГ – 10,8%, КГ – 11,5%), занятия танцами (ЭГ – 10,8%, КГ – 10,4%).

В процессе опроса было также выявлено, что подавляющее большинство исследуемых осуществляют любые виды деятельности для укрепления собственного здоровья «иногда» (ЭГ – 53,01%, КГ – 52,64%) или «редко» (ЭГ – 37,95%, КГ – 38,44%). Такие эпизодические, несистематические действия имеют недостаточное положительное влияние на организм человека, а потому считать, что таким образом человек укрепляет собственное здоровье, нельзя.

Результаты анкетирования в обобщенном виде представлены в табл. 1.

Таблица 1

Обобщенные средние показатели по анкете «Ваш спортивный досуг»
(констатирующий эксперимент)

Группа	Осуществление любых видов деятельности для укрепления собственного здоровья					
	постоянно		иногда		редко	
	чел.	%	чел.	%	чел.	%
ЭГ (117чел.)	10	9,04	29	53,01	78	37,95
КГ (117чел.)	15	8,92	39	52,64	63	38,44

Полученные по результатам анкетирования данные свидетельствуют о том, что у студентов имеет место пассивное отношение к

собственному здоровью. По нашему мнению, это может быть связано с эффектом задержанной обратной связи: человек не

утруждает себя работой над укреплением собственного здоровья, поскольку результат от затраченных усилий не сразу заметен. Занятия утренней гимнастикой, определенным видом оздоровительных систем, закаливанием и другими видами оздоровительной деятельности дают ощутимый результат не сразу, а спустя довольно длительное время, часто через месяцы и годы. Молодые люди этого не понимают, часто они не владеют такой информацией, их не настраивают на длительную и систематическую работу по укреплению здоровья. Не получив быстрого эффекта от полезных для своего здоровья действий, молодые люди прекращают заниматься физическими упражнениями и могут не вернуться к этим занятиям в дальнейшем.

Результаты тестирования говорят о том, что для формирования у студентов активного отношения к собственному здоровью и мотивации к укреплению здоровья необходимы дополнительные занятия физическими упражнениями.

Организация занятий студентов физическими упражнениями заключается в применении преподавателями различных форм педагогического процесса. Главными из них являются теория и практика физического воспитания, формирование у студентов мотивации к укреплению здоровья, оздоровительной и адаптивной физической культуры студентов в современных условиях.

Таким образом, без участия преподавателей невозможно сформировать устойчивые потребности студентов к самостоятельным занятиям физической культурой, как и стереотип здорового образа жизни.

Поэтому в учебном и воспитательном процессе нами использовались методы и формы, основанные на взаимодействии, направленные на самостоятельный поиск истины, способствующие формированию критического мышления, инициативы и творчества. К ним относятся ситуационно-ролевая игра, «мозговой штурм», метод

открытой трибуны, социально-психологический тренинг, интеллектуальный аукцион, метод анализа социальных ситуаций и т.п. Во внеаудиторное время введено в практику проведение диспутов по следующей тематике: «Кем быть или каким быть?», «Витамины и минеральные вещества», «Совместимость продуктов и правильная диета», «Различные подходы к организации питания», «Основные формы оздоровительной физической культуры». Изложение материала сопровождается практическими рекомендациями и упражнениями, направленными на гармонизацию образа жизни. Кроме того, методы диагностики здоровья и образа жизни и здоровьесберегающие технологии формирования культуры здоровья позволяют студентам разработать собственную программу саморазвития и самосовершенствования.

Выводы. Вопреки традиционному пониманию, внеаудиторная воспитательная работа со студентами сегодня должна рассматриваться как самостоятельная категория, тесно связанная с процессом обучения. Проведенное исследование не исчерпывает всего многообразия вопросов мотивации к занятиям физическими упражнениями и позволяет осознать необходимость и важность определенных действий, определенной линии поведения, активизирующей деятельность человека. В свою очередь ценности определяют генеральную позицию личности, общий подход к миру и самому себе, составляют содержание ее мировоззрения, стимулируют поведение и поступки, выступая как важный фактор деятельности.

Список источников

1. Кобяков, Ю. П. Основы здорового образа жизни современного студента: учебное пособие / Ю. П. Кобяков. – М.: Академический Проект, 2020. – 115 с.
2. Захарова Л. В. Физическая культура: учебник / Л.В. Захарова, Н.В. Люлина. Красноярск: СФУ, 2017. – 612 с.

3. Радченко, Д. Г. Физическое воспитание студентов в высших учебных заведениях: учеб. пособие / Д. Г. Радченко, М. Н. Григорян. – Красноярск: Сибир. гос. ун-т науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнева, 2020. – 120 с.

4. Физическая культура и спорт в образовательном пространстве России: монография / Алексеев С. В., Виленский М. Я., Гостев Р. Г. и др. – М.: ООО НИЦ «Еврошкола», Воронеж; ООО «Издательство РИТМ», 2017. – 500 с.

5. Яшин В. Н. ОБЖ: Здоровый образ жизни / В. Н. Яшин. – М.: Флинта, 2017. – 125 с.

References

1. Kobyakov, Y. P. Fundamentals of a healthy lifestyle of a modern student: Textbook / Y. P. Kobyakov. – Moscow: Academic Project, 2020. – 115 с.

2. Zakharova L. V. Physical culture: textbook / L. V. Zakharova, N. V. Lyulina. Krasnoyarsk: SFU, 2017. – 612 с.

3. Radchenko, D. G. Physical education students in higher educational institutions: textbook / D. G. Radchenko, M. N. Grigoryan. – Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology named after M. F. Reshetnev. M. F. Reshetnev, 2020. – 120 с.

4. Physical culture and sport in the educational space of Russia: a monograph / Alexeev S. V., Vilensky M. V., Vilensky M. Ya. G. et al. – Moscow: LLC SIC "Euroschool", Voronezh; LLC "RITM Publishing House", 2017. – 500 с.

5. Yashin V. N. OBZh: Healthy lifestyle / V. N. Yashin. – Moscow: Flinta, 2017. – 125 с.

Статья поступила в редакцию 10.06.2024

Информация об авторах

Игнатова Татьяна Алексеевна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры физического воспитания Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
Автор ID: 1238910, SPIN-код: 8799 – 2521.
E-mail: mastert.78@inbox.ru

Information about the authors

Ignatova Tatiana Alekseevna, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Education Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
Author ID: 1238910, SPIN-code: 8799 – 2521.
E-mail: mastert.78@inbox.ru

Для цитирования:

Игнатова Т.А. Формирование культуры здоровья у студенческой молодежи во внеаудиторной деятельности, психолого-педагогический аспект // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 7(85). – С. 90-94.

For citations:

Ignatova T.A. Formation of health culture in student youth in extracurricular activities, psychological and pedagogical aspect // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 7(85). – P. 90-94.

УДК 621.316.1.027.6 (477.61 – 3 Красный Луч)

**ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 35 кВ
КРАСНОЛУЧСКОГО РЕГИОНА ГУП ЛНР «РСК» ПУТЕМ РЕКОНСТРУКЦИИ**

Парсентьев О. С.

**INCREASING THE TECHNOLOGICALITY AND CAPACITY OF 35 kV
DISTRIBUTION ELECTRICITY NETWORKS IN THE KRASNOLUCHSK
REGION SUE LPR "RGC" BY RECONSTRUCTION**

Parsentev O. S.

Аннотация. Рассмотрено техническое состояние распределительной электрической сети напряжением 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «Республиканская сетевая компания». Произведена оценка технического состояния массива масляных двухобмоточных силовых трансформаторов с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ в распределительных электрических сетях напряжением 35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «Республиканская сетевая компания». Применяя обобщенный метод установлено, что при трансформации электрической энергии через массив масляных двухобмоточных силовых трансформаторов с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ этой электросети в последних выделяются потери активной электроэнергии, превышающие нормируемое значение.

Для снижения потерь активной электроэнергии, связанных с трансформацией в распределительной электрической сети напряжением 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «Республиканская сетевая компания» в работе, предлагаются варианты реконструкции понизительных подстанций напряжением 35/10(6) кВ в этой электросети с установкой групп энергоэффективных двухобмоточных масляных и сухих силовых трансформаторов аналогичного сочетания напряжений производства России, Китая, Германии, Италии и Франции.

По результатам анализа выбраны два варианта реконструкции распределительной электрической сети напряжением 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «Республиканская сетевая компания» с установкой групп энергоэффективных двухобмоточных силовых трансформаторов с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, имеющих наименьшие потери активной электроэнергии при трансформации.

Предложен технический способ для снижения основных и дополнительных потерь активной и реактивной электроэнергии при трансформации в распределительной электрической сети напряжением 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «Республиканская сетевая компания».

Ключевые слова: силовой трехфазный двухобмоточный масляный трансформатор, литая изоляция, реконструкция, класс напряжения, сочетание напряжений, трансформация, потери холостого хода, потери короткого замыкания, группа номинальной мощности, массив, распределительная электрическая сеть, напряжение короткого замыкания, суммарные основные годовые потери активной электроэнергии, коэффициент загрузки, годовой фонд рабочего времени, энергоэффективность.

Abstract. The technical condition of the 35 kV distribution electric network of the Krasnoluchsky region of the SUE of the LPR "Republican Grid Company" is considered. The technical condition of the array of oil two-winding power transformers with a voltage combination of 35/10 (6) kV in the 35 kV distribution electric networks of the Krasnoluchsky region of the SUE of the LPR "Republican Grid Company" is assessed. Using the generalized method, it was found that when transforming electrical energy through an array of oil two-winding power transformers with a voltage combination of 35/10 (6) kV of this electric network, the latter emit active electrical energy losses that exceed the standard value.

In order to reduce the losses of active electric power associated with transformation in the 35 kV distribution electric network of the Krasnoluchsky region of the LPR SUE "Republican Grid Company" in operation, options are proposed for the reconstruction of step-down substations with a voltage of 35/10 (6) kV in this electric network with the installation of groups of energy-efficient two-winding oil and dry power transformers of a similar voltage combination manufactured in Russia, China, Germany, Italy and France.

Based on the analysis results, two options were selected for the reconstruction of the 35 kV distribution electric network of the Krasnoluchsky region of the LPR SUE "Republican Grid Company" with the installation of groups of energy-efficient two-winding power transformers with a voltage combination of 35/10 (6) kV, which have the lowest losses of active electric power during transformation. A technical method is proposed for reducing the main and additional losses of active and reactive electric power during transformation in the 35 kV distribution electric network of the Krasnoluchsky region of the SUE of the LPR "Republican Grid Company".

Key words: *three-phase two-winding oil-immersed power transformer, cast insulation, reconstruction, voltage class, voltage combination, transformation, no-load losses, short-circuit losses, rated power group, array, distribution electric network, short-circuit voltage, total basic annual losses of active electric energy, load factor, annual working time fund, energy efficiency.*

Введение. Распределительные электрические сети (РЭС) напряжением 35 кВ – совокупность энергообъектов для передачи и распределения электрической энергии, состоящая из массива понизительных и повысительных подстанций, распределительных устройств и линий электропередачи (ЛЭП) [1].

При проектировании РЭС рассматриваются такие виды работ: новое строительство, расширение и реконструкция.

Новое строительство включает сооружение новых линий электропередачи и подстанций.

Расширение РЭС относится исключительно к подстанциям – это установка второго трансформатора на действующей подстанции с проведением необходимых строительных работ.

Реконструкция существующих РЭС подразумевает изменение их технических параметров при частичном или полном сохранении строительной части энергообъектов с целью повышения передаваемой мощности, надежности электроснабжения и качества передаваемой потребителю электрической энергии. К реконструкции относятся работы по замене проводов воздушных ЛЭП, перевод электросетей на другой класс напряжения, замена силовых трансформаторов (СТ), выключателей и другой коммутационно-защитной аппаратуры в связи с изменением мощности или класса напряжения, установка

интеллектуальных средств защиты, диспетчерского мониторинга и учета потребления (перетекание и генерация) электрической энергии в этих сетях [1].

Распределительные электрические сети напряжением 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «Республиканская сетевая компания» (ГУП ЛНР «РСК») состоят из ЛЭП – 35 кВ и 41 питающей понизительной подстанции (ПС) с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, в которых установлены 79 двухобмоточных масляных СТ с аналогичными сочетаниями напряжений, суммарной установленной мощностью 647500 кВА [2]. РЭС напряжением 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» осуществляют электрификацию объектов народного хозяйства на территории Краснолучского и Ровеньковского городских округов и Антрацитовского муниципального округа (рис.1) через понизительные трансформаторные подстанции с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ, находящиеся в оперативно-техническом обслуживании районов электрических сетей, закрепленных на этих территориях [3]. По месту расположения последние являются местными и районными. Местные электросети сети обслуживают районы с относительно малой плотностью нагрузки и радиусом действия до 30 км с передаваемой мощностью по одноцепной линии до 15 МВА.

Районные электросети охватывают Антрацитовский, Краснолучский и Ровеньковский округа и связывают электростанции электрической системы между собой и с центрами нагрузок.

На понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» эксплуатируется массив масляных двухобмоточных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, III и IV габаритов номинальной мощностью от 2500 до 16000 кВА, одна часть которого представляет ряд мощностей, сформированный по ГОСТ 9680 – 77 [4; 5].

Другая часть на этих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ Луганского региона

ГУП ЛНР «РСК» представляет массив, состоящий из 18 масляных двухобмоточных СТ (24,0% от общего количества) номинальной мощностью: 3200; 5600 и 7500 кВА, срок эксплуатации которых в настоящий момент превышает 50 лет, а потери холостого хода и короткого замыкания при трансформации электрической энергии превышают в несколько раз нормируемое значение по ГОСТ 11677–85 «Общие технические условия» и выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии при ее передаче по ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» с уровнем напряжения «220 кВ и ниже» [2; 6].



Рис. 1. Карта городских и муниципальных округов Луганской Народной Республики, электрификация которых осуществляется от РЭС напряжением 35–110 кВ ГУП ЛНР «РСК»

Целью статьи является минимизация основных годовых потерь активной электроэнергии на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» при

ее трансформации путем реконструкции этих ПС с частичным сохранением их строительной части и установкой энергоэффективных двухобмоточных СТ аналогичного сочетания напряжений.

Постановка задачи. Для достижения цели в работе поставлены и решаются такие задачи:

1. Провести оценку и сравнительный анализ суммарных годовых потерь активной электроэнергии, связанных с трансформацией в массиве номинальной мощности существующих двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ на ПС 35/10(6) кВ промышленной частоты от токов нагрузки, а также в планируемых для замены группах номинальной мощности энергоэффективных двухобмоточных СТ с масляной и литой изоляцией промышленной частоты отечественного и зарубежного производства после реконструкции этих ПС в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК».

2. По итогам сравнительного анализа выбрать варианты для реконструкции подстанций в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» с группами номинальной мощности двухобмоточных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, имеющих наименьшие суммарные годовые потери активной электроэнергии при ее трансформации.

Теоретическая часть. Для определения основных суммарных годовых потерь активной электроэнергии в существующем массиве двухобмоточных масляных СТ промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» от токов нагрузки при трансформации электрической энергии используется обобщенный метод расчета, суть которого изложена в [5].

При использовании данного метода необходимо знать следующие паспортные данные двухобмоточных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ: номинальная мощность ($S_{ном}$, кВА), мощность потерь холостого хода ($P_{хх}$, Вт), мощность потерь короткого замыкания ($P_{кз}$, Вт), напряжение короткого замыкания (u_k , %) и ток холостого хода (i_0 , %). Число и номинальная мощность массива двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ

промышленной частоты 50Гц, эксплуатируемых на ПС 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК», приводятся в [2].

При расчете делаем допущение о том, что:

- потери мощности и ток холостого хода, а также потери мощности и напряжение короткого замыкания в существующем массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6)кВ, эксплуатируемых в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК», принимались по источнику [2];

- в массиве масляных и сухих двухобмоточных СТ с сочетанием напряжений 35/10 (6) кВ промышленной частоты в РЭС – 35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» суммарные годовые потери активной электроэнергии определяются при значениях коэффициента нагрузки $K_z = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и 1,0 при действии основной гармоники тока и напряжения, которые изменяется по синусоидальному закону с частотой сети 50Гц;

- во всех специально не оговоренных случаях за расчетную температуру, к которой приводятся потери и напряжение короткого замыкания, принимается 120°C для всех масляных и сухих СТ.

При расчете не учитываются потери активной электроэнергии, выделяемые:

- в СТ, балансодержателями которых не являются РЭС – 35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»;

- в коммутационно-защитных аппаратах, мониторинговом оборудовании и ошиновке, связанных с образованием переходного сопротивления в понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ РЭС – 35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»;

- от действия электромагнитных переходных процессов, возникающих в результате коммутации в РЭС от действия токов одно-, двух-, трехфазного и межвиткового короткого замыкания, бросков намагничивающего тока и аномальных режимов работы в РЭС – 35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»;

– второстепенные уточнения несущественны [5].

Таким образом, после всех уточнений и допущений формула для определения основных суммарных годовых потерь активной электроэнергии в существующем массиве двухобмоточных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» при ее трансформации, а также в группах номинальной мощности двухобмоточных масляных и сухих энергоэффективных СТ аналогичного сочетания напряжения, планируемых для замены существующего массива трансформаторов, окончательно примет вид [3;5]:

$$\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}} = \frac{n \cdot T \cdot (P_{\text{ХХ}} + P_{\text{КЗ}} \cdot K_3^2)}{10^9}, \text{ [ГВт} \cdot \text{ч];} \quad (1)$$

где $P_{\text{ХХ}}$ – мощность потерь холостого хода, Вт, [2];

$P_{\text{КЗ}}$ – мощность потерь короткого замыкания, Вт. [2];

T – время работы СТ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК», ч, $T=8760$ ч;

K_3 – коэффициент нагрузки на СТ;

n – количество одинаковых по мощности СТ, шт.

Расчеты основных суммарных годовых потерь активной электроэнергии в существующем массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ ГУП ЛНР «РСК» промышленной частоты при ее трансформации проводились при следующих значениях коэффициента нагрузки на СТ $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и $1,0$.

Результаты экспериментов. На рис. 2 представлены зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}} = f(S_{\text{НОМ}})$ в массиве существующих двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых на понизительных ПС напряжением 35/10(6) в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР

«РСК» при изменении коэффициента нагрузки $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и $1,0$.

Анализ рис. 2 позволяет сделать заключение о том, что при изменении нагрузки K_3 от 0 до 1,0 в массиве существующих двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, эксплуатируемых на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК», суммарные основные годовые потери активной электроэнергии $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ будут составлять 5,14 – 29,35 % от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающего из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,27 – 7,23 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии при ее передаче по ЕНЭС с уровнем напряжения «220 кВ и ниже» [6].

Обобщающий анализ показывает, что при изменении нагрузки в пределах $0 \leq K_3 \leq 1,0$ в существующем массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, эксплуатируемых на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК», суммарные основные годовые потери активной и реактивной электроэнергии в них остаются высокими. Наибольшие потери от прироста нагрузки приходится на группы двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ номинальной мощностью: 4000; 5600; 7500; 10000 и 16000 кВА.

Для минимизации основных годовых потерь активной электроэнергии в РЭС – 35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» при ее трансформации от токов нагрузки в настоящей работе предлагается провести сравнительный анализ годовых потерь активной электроэнергии в существующем массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ, а также в планируемых для замены группах номинальной мощности двухобмоточных СТ с

масляной и литой изоляцией промышленной частоты отечественного и зарубежного производства после реконструкции ПС 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК». По результатам этого сравнительного анализа будут выбраны варианты с группами номинальных мощностей

двухобмоточных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, имеющие наименьший уровень основных годовых потерь активной электроэнергии в РЭС – 35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» при ее трансформации от токов нагрузки.

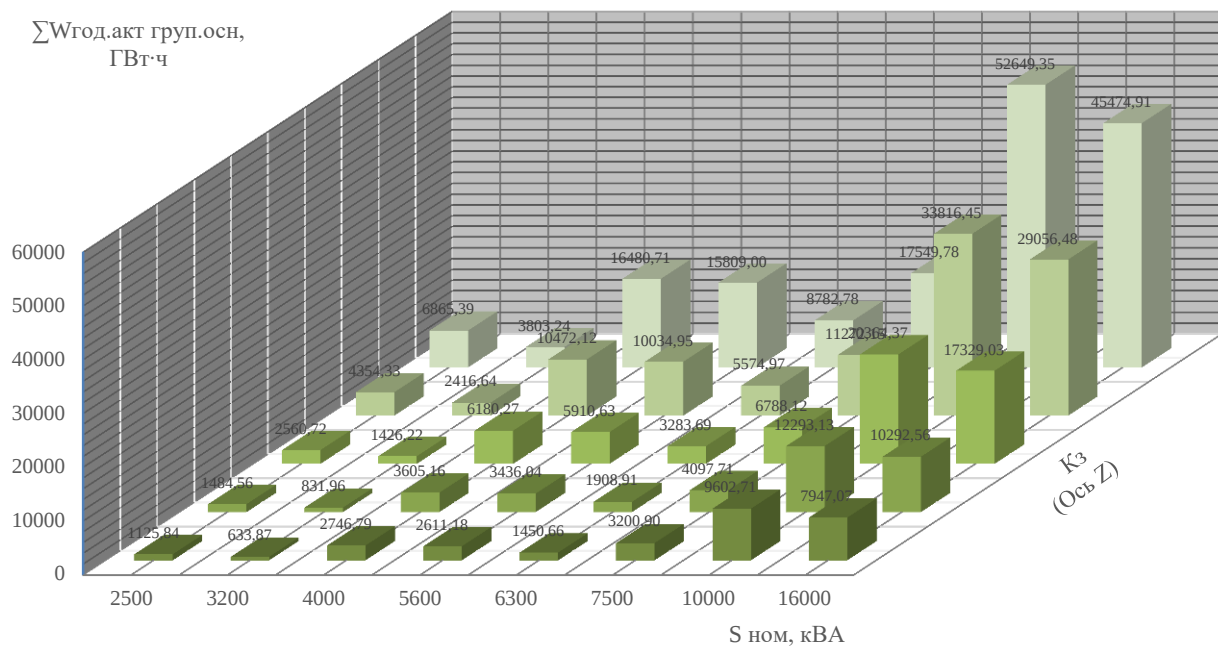


Рис. 2. Зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии

$\Sigma W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}} = f(S_{\text{НОМ}})$ в существующем массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, эксплуатируемых на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» при коэффициентах нагрузки

$K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и $1,0$ (по оси Z)

Для сравнительного анализа рассмотрены варианты с группами номинальной мощности энергоэффективных двухобмоточных масляных и сухих СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты следующих заводов-изготовителей:

1. CNC Electric Group Co., Ltd (Китай)[7];
2. SIEMENS (Германия) [8];
3. STARKSTROM-GERÄTEBAU GMBH группы SGB – Smit (Германия) [9; 10];
4. АО «СИСТЭМ ЭЛЕКТРИК» (Россия) [11];
5. TMC Transformers Italy Group (Италия) [12];
6. LEGRAND (Франция)[13];

7. S.E.A. Società Elettromeccanica Arzignanese, S.p.A (SEA, Италия) [14; 15].

Вариант 1. Определение основных годовых потерь активной электроэнергии при ее трансформации в группах номинальной мощности двухобмоточных масляных СТ серий S9 с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты производства компании CNC Electric Group Co., Ltd (Китай), планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Для минимизации основных потерь активной электроэнергии при ее трансформации в существующей РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предлагается рассмотреть вариант **реконструкции** понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ с заменой морально устаревшего массива двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ [2] на группы номинальной мощности масляных двухобмоточных СТ серии S9 промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 6 – 8 % аналогичного сочетания напряжений номиналом: 2500; 3150; 4000; 6300; 8000; 10000 и 16000 кВА производства компании CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) [7].

Двухобмоточные масляные СТ серии S9 выполнены в соответствии со следующими

стандартами: GB1094.1 – 1996; GB1094.2 – 1996; GB1094.3 – 2003; GB1094.5 – 2003; GB/T6451 – 2008; GB311.1 – 1997; JB/T10088 – 2004.

При выполнении расчетов делаем допущение о том, что расчетная температура, к которой приводятся потери и напряжение короткого замыкания, принимается равной 75°C для групп номинальной мощности двухобмоточных масляных СТ серии S9 промышленной частоты.

После реконструкции существующих понизительных ПС 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предполагаемое количество и суммарная номинальная мощность групп двухобмоточных масляных СТ серии S9 промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут такими, как это представлено в табл. 1.

Таблица 1

Число и суммарная номинальная мощность групп двухобмоточных масляных СТ серии S9, промышленной частоты и уровнем напряжения короткого замыкания 6 – 8% с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, принимаемых к установке после реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Номинальная мощность СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ $S_{ном}$, кВА	Количество, шт.	Пропускная мощность групп номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС-35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК», $\Sigma S_{ном}$, кВА после реконструкции	Потери холостого хода одного СТ с очетанием напряжений 35/10(6) кВ, Рхх, Вт	Потери короткого замыкания одного СТ сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, Рк.з., Вт
2500	7	17500	3150	20700
3150	3	9450	3870	24300
4000	13	52000	4640	28800
6300	14	88200	6570	36900
8000	7	56000	9000	40500
10000	21	210000	10600	47700
16000	14	224000	15300	69300
	79	657150		

В результате такой реконструкции существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС–35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» двухобмоточными масляными СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ серии S9 промышленной частоты пропускная способность электросети увеличится незначительно, в 1,01 раза.

По результатам расчета на рис. 3 представлены зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной

электроэнергии при трансформации $\Sigma W_{АКТ.ГРУПП.СТ}^{ГОД} = f(S_{НОМ})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных масляных СТ серии S9 промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, планируемых к установке в существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ ГУП ЛНР «РСК» при следующих значениях коэффициента нагрузки $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и 1,0.

Анализ рис. 3 позволяет сделать заключение о том, что при изменении коэффициента нагрузки K_3 от 0 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных масляных СТ серии S9 с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» после реконструкции,

суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ снизятся в 1,31 – 1,36 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС.

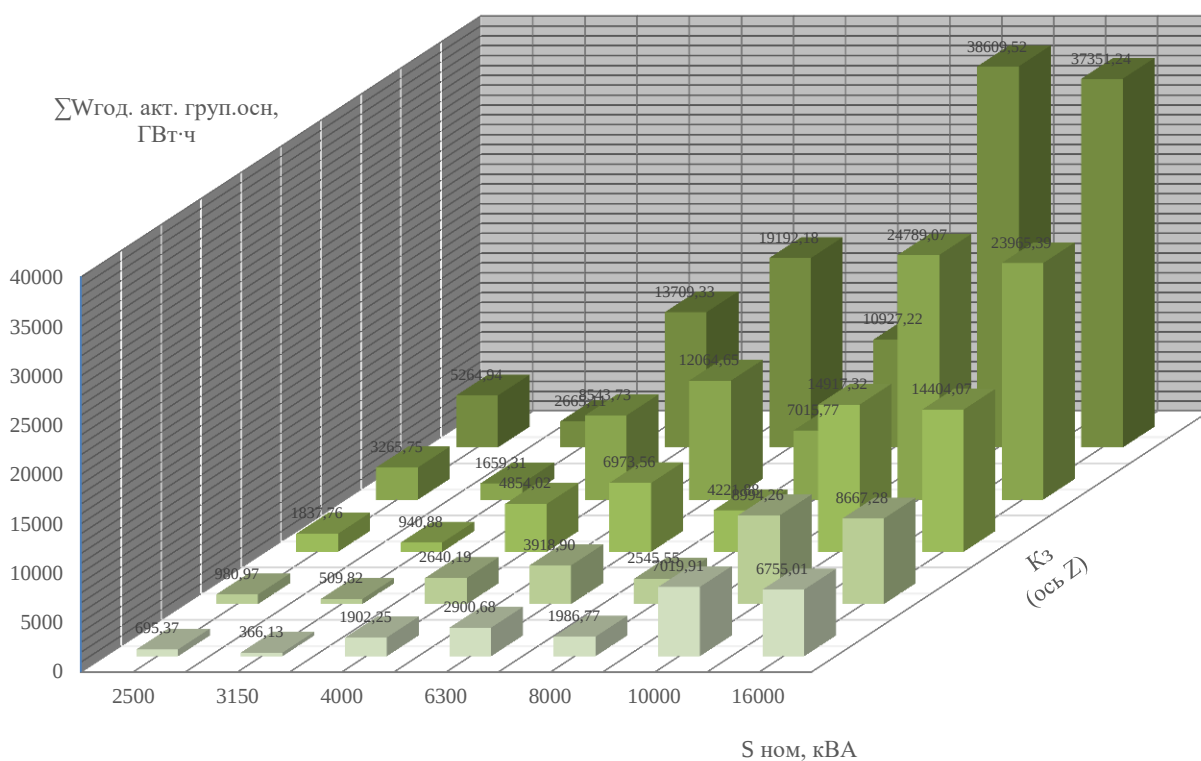


Рис. 3. Зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}} = f(S_{\text{НОМ}})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных масляных СТ серии S9 с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке в понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» при коэффициентах нагрузки $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и 1,0 (по оси Z)

Дальнейшие исследования показали, что при изменении коэффициента нагрузки K_3 :

– от 0 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных масляных СТ серии S9 с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ будут составлять 3,79 – 22,39 % от величины суммарного отпуска

электрической энергии, поступающего из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения [6];

– от 0,25 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных масляных СТ серии S9 с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ будут в 1,22 – 5,51 раза выше усредненного показателя норматива потерь

электрической энергии при ее передаче по ЕНЭС с уровнем напряжения «220 кВ и ниже» [6];

– наибольшие потери от прироста нагрузки придутся на группы двухобмоточных масляных СТ серии S9 с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ номинальной мощностью: 4000; 6300; 10000 и 16000 кВА.

Учитывая вышесказанное, после такой реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» суммарные основные годовые потери активной электроэнергии в группах номинальной мощности двухобмоточных масляных СТ серии S9 с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут оставаться высокими.

Вариант 2. Определение основных годовых потерь активной электроэнергии при ее трансформации в группах номинальной мощности двухобмоточных СТ серии SC(Z)B9, выполненных с литой изоляцией с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты производства компании CNC Electric Group Co., Ltd (Китай), планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК».

Для минимизации основных потерь активной электроэнергии при ее трансформации в существующей РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предлагается рассмотреть вариант реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ с заменой морально устаревшего массива двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ [2] на группы номинальной мощности двухобмоточных СТ серии SC(Z)B9, выполненных с литой изоляцией промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 6 – 9 % аналогичного сочетания напряжений номиналом: 2500; 3150; 4000; 6300; 8000; 10000 и 16000 кВА производства компании CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) [7].

Двухобмоточные сухие СТ серии SC(Z)B9 выполнены в соответствии со следующими стандартами: GB 1094.11– 2007; GB 1094 –

1996; GB/T22072–2008; GT/T17211– 1998; JB/T 10088 – 2004; GB 4208 – 1993 и IEC726.

При выполнении расчетов делаем допущение о том, что расчетная температура, к которой приводятся потери и напряжение короткого замыкания, принимается равной 75°C для групп номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9, промышленной частоты.

После реконструкции существующих понизительных ПС 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предполагаемое количество и суммарная номинальная мощность групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут такими, как это представлено в табл. 2.

В результате такой реконструкции существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» двухобмоточными сухими СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ серии SC(Z)B9 промышленной частоты пропускная способность электросети увеличится в 1,01 раза.

По результатам расчета на рис. 4 представлены зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ.}}^{\text{ГОД}} = f(S_{\text{НОМ}})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, планируемых к установке в существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ ГУП ЛНР «РСК» при следующих значениях коэффициента нагрузки $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и 1,0.

Анализ рис. 4 позволяет сделать заключение о том, что:

– при изменении нагрузки K_3 от 0 до 0,25 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением

35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» после реконструкции, суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ увеличатся в 1,01 – 1,06 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС;

– при изменении коэффициента нагрузки K_3 от 0,5 до 1,0 в группах

номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ снизятся в 1,06 – 1,13 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемыми в настоящий момент в этих ПС.

Таблица 2

Число и суммарная номинальная мощность групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 промышленной частоты и уровнем напряжения короткого замыкания 6 – 9% с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, принимаемых к установке после реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Номинальная мощность СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ $S_{\text{ном}}$, кВА	Количество, шт.	Пропускная мощность групп номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС-35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК», $\sum S_{\text{ном}}$, кВА после реконструкции	Потери холостого хода одного СТ с очетанием напряжений 35/10(6) кВ, $P_{\text{хх}}$, Вт	Потери короткого замыкания одного СТ сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, $P_{\text{к.з.}}$, Вт
2500	7	17500	5400	22900
3150	3	9450	6750	25800
4000	13	52000	7830	31000
6300	14	88200	11000	43000
8000	7	56000	12600	47700
10000	21	210000	14400	58500
16000	14	224000	20000	64000
	79	657150		

Дальнейшие исследования показали, что при изменении нагрузки K_3 :

– от 0 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ будут составлять 5,44 – 25,90 % от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающего из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,34 – 6,38 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии при

ее передаче по ЕНЭС с уровнем напряжения «220 кВ и ниже» [6].

– наибольшие потери от прироста нагрузки придутся на группы двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ номинальной мощностью: 4000; 6300; 10000 и 16000 кВА.

Учитывая вышесказанное, после такой реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» суммарные основные годовые потери активной электроэнергии в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут оставаться высокими.

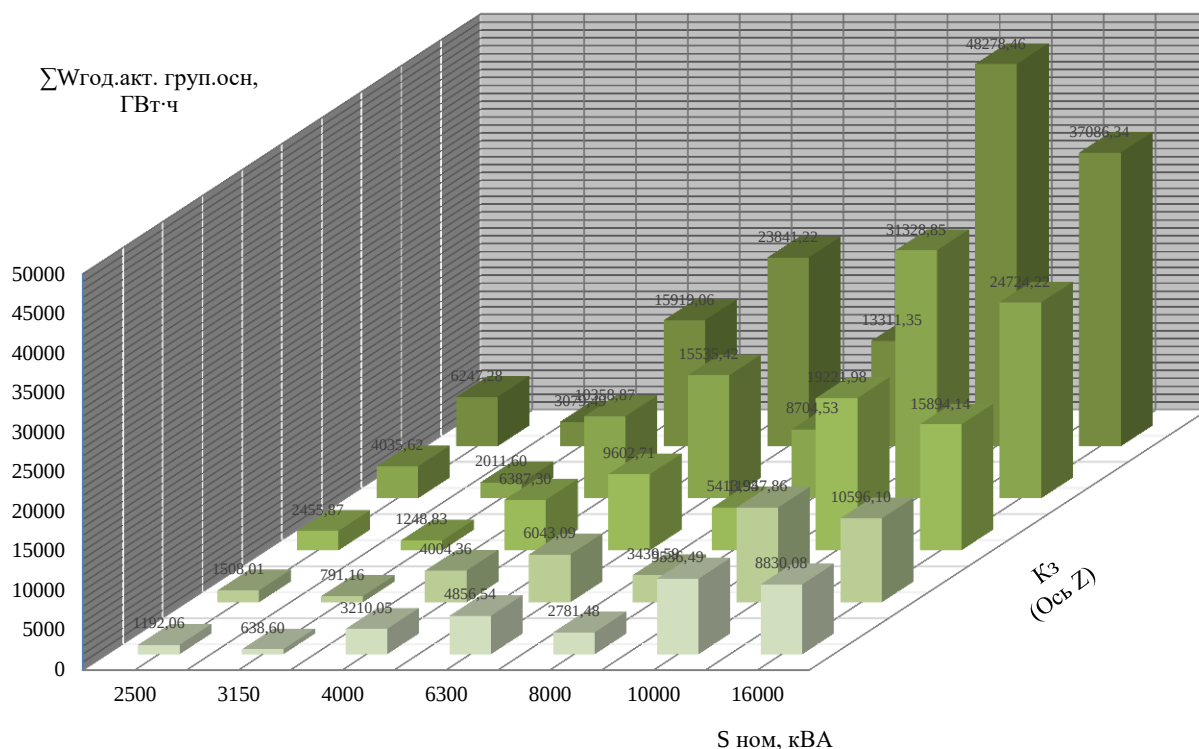


Рис. 4. Зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}} = f(S_{\text{НОМ}})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке в понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» при коэффициентах нагрузки $K_z = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и $1,0$ (по оси Z)

Вариант 3. Определение основных годовых потерь активной электроэнергии при ее трансформации в группах номинальной мощности, компонуемых из двухобмоточных СТ серии SC(Z)B9 производства компании CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) и серии 4GB, производства SIEMENS (Германия), выполненных с литой изоляцией с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Для минимизации основных потерь активной электроэнергии при ее трансформации в существующей РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предлагается рассмотреть вариант реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ с заменой морально устаревшего массива двухобмоточных

масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ [2] на группы номинальной мощности двухобмоточных СТ серии:

- SC(Z)B9, выполненных с литой изоляцией промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 6 – 9 % аналогичного сочетания напряжений номиналом: 2500; 3150; 4000; 6300 кВА производства компании CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) [7];

- 4GB, выполненных с литой изоляцией «GEAFOL», промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 6 % аналогичного сочетания напряжений номиналом: 8000; 10000 и 16000 кВА производства SIEMENS (Германия) [8].

Двухобмоточные сухие СТ серии 4GB выполнены в соответствии со следующими стандартами: МЭК 60076 – 11; DIN EN 60076 – 11 и VDE 0532 – 76 – 11.

При выполнении расчетов делаем допущение о том, что расчетная температура, к которой приводятся потери и напряжение короткого замыкания, принимается равной 75°C для групп номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и 4GB, промышленной частоты.

После реконструкции существующих понизительных ПС 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предполагаемое количество и суммарная номинальная мощность компоуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и

4GB промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут такими, как это представлено в табл. 3.

В результате такой реконструкции существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» двухобмоточными сухими СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ серии SC(Z)B9 и 4GB промышленной частоты пропускная способность электросети увеличится в 1,01 раза.

Таблица 3

Число и суммарная номинальная мощность компоуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и 4GB промышленной частоты и уровнем напряжения короткого замыкания 6 – 9% с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, принимаемых к установке после реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Название серии СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ	Номинальная мощность СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ $S_{ном}$, кВА	Количество, шт.	Пропускная мощность групп номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС-35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК», $\Sigma S_{ном}$, кВА после реконструкции	Потери холостого хода одного СТ с очетанием напряжений 35/10(6) кВ, $P_{хх}$, Вт	Потери короткого замыкания одного СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, $P_{к.з.}$, Вт
SC(Z)B9	2500	7	17500	5400	22900
SC(Z)B9	3150	3	9450	6750	25800
SC(Z)B9	4000	13	52000	7830	31000
SC(Z)B9	6300	14	88200	11000	43000
4GB6975 – 9DY05 – 0AG0	8000	7	56000	13500	38000
4GB7075 – 9DY05 – 0AG0	10000	21	210000	15500	42000
4GB7275 – 9DY05 – 0AG0	16000	14	224000	22000	55000
		79	657150		

По результатам расчета на рис. 5 представлены зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\Sigma W_{АКТ.ГРУП.СТ}^{ГОД} = f(S_{НОМ})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и 4GB промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, планируемых к установке в существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ ГУП ЛНР «РСК» при следующих значениях коэффициента нагрузки $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и 1,0.

Анализ рис. 5 позволяет сделать заключение о том, что:

– при изменении нагрузки K_3 от 0 до 0,25 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и 4GB с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» после реконструкции, суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\Sigma W_{АКТ.ГРУП.СТ}^{ГОД}$ увеличатся в 1,03 – 1,12 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений

35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС;

– при изменении коэффициента нагрузки K_3 от 0,5 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и 4GB с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты суммарные основные годовые потери активной

электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ снизятся в 1,10 – 1,26 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС.

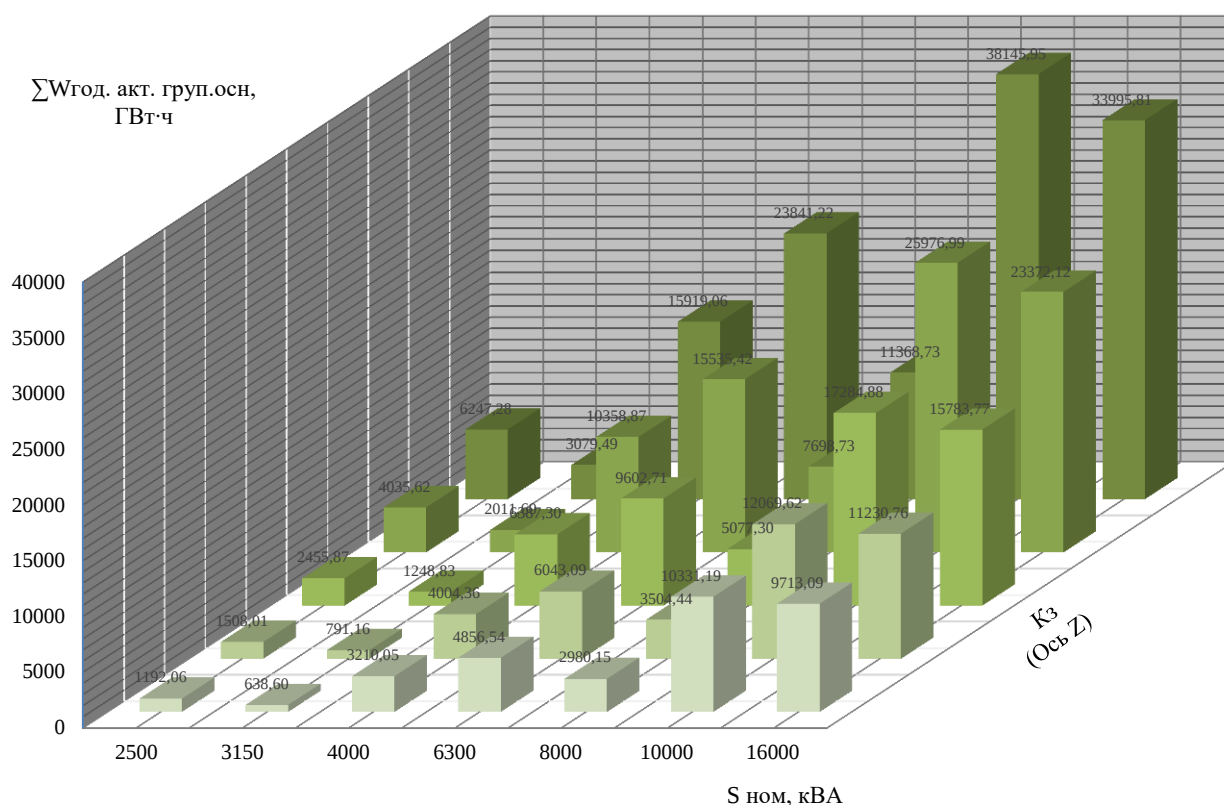


Рис. 5. Зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}} = f(S_{\text{НОМ}})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и 4GB с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке в понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» при коэффициентах нагрузки $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и 1,0 (по оси Z)

Дальнейшие исследования показали, что при изменении нагрузки K_3 :

– от 0 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и 4GB с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ будут составлять 5,77 – 23,24 % от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающего

из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,42 – 5,72 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии при ее передаче по ЕНЭС с уровнем напряжения «220 кВ и ниже» [6];

– наибольшие потери от прироста нагрузки придется на группы двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и 4GB с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ номинальной мощностью: 4000; 6300; 10000 и 16000 кВА.

Учитывая вышесказанное, после такой реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» суммарные основные годовые потери активной электроэнергии в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и 4GB с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут оставаться высокими.

Вариант 4. Определение основных годовых потерь активной электроэнергии при ее трансформации в группах номинальной мощности компоуемых из двухобмоточных СТ серии SC(Z)B9 производства компании CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) и серии DTTHIL производства SGB-SMIT GROUP (Германия), выполненных с литой изоляцией с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Для минимизации основных потерь активной электроэнергии при ее трансформации в существующей РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предлагается рассмотреть вариант реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ с заменой морально устаревшего массива двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ [2] на группы номинальной мощности двухобмоточных СТ серии:

– SC(Z)B9, выполненных с литой изоляцией промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 6 – 9 % аналогичного сочетания напряжений номиналом: 2500; 3150; 4000 и 16000 кВА производства компании CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) [7];

– DTTHIL, выполненных с литой изоляцией промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 7– 8 %, значительно сниженными потерями, аналогичного сочетания напряжений

номиналом: 6300; 8000 и 10000 кВА производства SGB-SMIT GROUP (Германия) [9;10].

Двухобмоточные сухие СТ серии DTTHIL выполнены в соответствии со следующими стандартами: МЭК 60076 – 11, EN – 50541–1, ANSI и IEEE.

При выполнении расчетов делаем допущение о том, что расчетная температура, к которой приводятся потери и напряжение короткого замыкания, принимается равной 75°C для групп номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и DTTHIL промышленной частоты.

После реконструкции существующих понизительных ПС 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предполагаемое количество и суммарная номинальная мощность компоуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и DTTHIL промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут такими, как это представлено в табл. 4.

В результате такой реконструкции существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» двухобмоточными сухими СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ серии SC(Z)B9 и DTTHIL промышленной частоты пропускная способность электросети увеличится в 1,01 раза.

По результатам расчета на рис. 6 представлены зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ.}}^{\text{ГОД}} = f(S_{\text{НОМ}})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и DTTHIL промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, планируемых к установке в существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ ГУП ЛНР «РСК» при следующих значениях коэффициента нагрузки $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и 1,0.

Таблица 4

Число и суммарная номинальная мощность компоуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и DTTHIL промышленной частоты и уровнем напряжения короткого замыкания 6 – 9% с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, принимаемых к установке после реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Название серии СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ	Номинальная мощность СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ $S_{ном}$, кВА	Количество, шт.	Пропускная мощность групп номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС-35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК», $\Sigma S_{ном}$, кВА после реконструкции	Потери холостого хода одного СТ с очетанием напряжений 35/10(6) кВ, $P_{хх}$, Вт	Потери короткого замыкания одного СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, $P_{к.з.}$, Вт
SC(Z)B9	2500	7	17500	5400	22900
SC(Z)B9	3150	3	9450	6750	25800
SC(Z)B9	4000	13	52000	7830	31000
DTTHIL	6300	14	88200	10000	30000
DTTHIL	8000	7	56000	14500	37000
DTTHIL	10000	21	210000	17500	49500
SC(Z)B9	16000	14	224000	20000	64000
		79	657150		

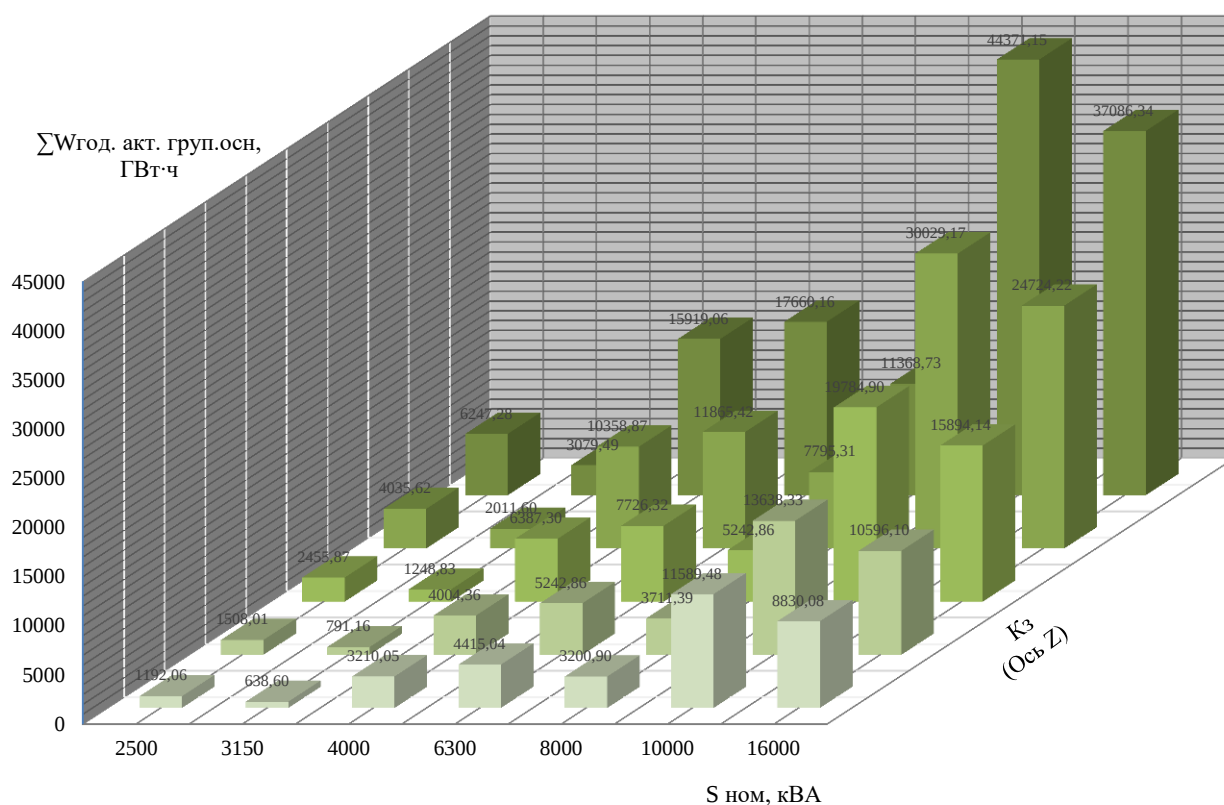


Рис. 6. Зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\Sigma W_{акт. групп. СТ}^{год} = f(S_{ном})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и DTTHIL с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке в понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» при коэффициентах нагрузки $K_z = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и $1,0$ (по оси Z)

Анализ рис. 6 позволяет сделать заключение о том, что:

- при изменении нагрузки K_3 от 0 до 0,25 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и DTTHIL с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» после реконструкции, суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ увеличатся в 1,04 – 1,13 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС;

- при изменении коэффициента нагрузки K_3 от 0,5 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и DTTHIL с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ снизятся в 1,09 – 1,23 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС.

Дальнейшие исследования показали, что при изменении нагрузки K_3 :

- от 0 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и DTTHIL с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ будут составлять 5,80 – 23,79 % от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающего из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,43 – 5,86 раза выше усредненного показателя

норматива потерь электрической энергии при ее передаче по ЕНЭС с уровнем напряжения «220 кВ и ниже» [6];

- наибольшие потери от прироста нагрузки придутся на группы двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и DTTHIL с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ номинальной мощностью: 4000; 6300; 10000 и 16000 кВА.

Учитывая вышесказанное, после такой реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» суммарные основные годовые потери активной электроэнергии в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и DTTHIL с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут оставаться высокими.

Вариант 5. Определение основных годовых потерь активной электроэнергии при ее трансформации в группах номинальной мощности, komponуемых из двухобмоточных СТ серии SC(Z)B9 производства компании CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) и серии Systeme 3AL/9t производства АО «Систем Электрик» (Россия), выполненных с литой изоляцией и сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Для минимизации основных потерь активной электроэнергии при ее трансформации в существующей РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предлагается рассмотреть вариант реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ с заменой морально устаревшего массива двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ [2] на группы номинальной мощности двухобмоточных СТ серии:

- Systeme 3AL/9t, выполненных с литой изоляцией промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 6 – 8 % аналогичного сочетания напряжений номиналом: 2500; 4000 и 6300 кВА производства компании АО «Систем электрик» (Россия) [11];

– SC(Z)B9, выполненных с литой изоляцией промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 8 – 9 %, аналогичного сочетания напряжений номиналом: 3150; 8000; 10000 и 16000 кВА производства CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) [7].

Двухобмоточные сухие СТ серии Systeme3AL/9t выполнены в соответствии со следующими стандартами: МЭК 60076 – 11: 2004 и ГОСТ Р 54287 – 2011;

При выполнении расчетов делаем допущение о том, что расчетная температура, к которой приводятся потери и напряжение

короткого замыкания, принимается равной 75°C для групп номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и Systeme3AL/9t промышленной частоты.

После реконструкции существующих понизительных ПС 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предполагаемое количество и суммарная номинальная мощность компоуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и Systeme3AL/9t промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут такими, как это представлено в табл. 5.

Таблица 5

Число и суммарная номинальная мощность компоуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и Systeme3AL/9t промышленной частоты и уровнем напряжения короткого замыкания 6 – 9% с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, принимаемых к установке после реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Название серии СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ	Номинальная мощность СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ $S_{ном}$, кВА	Количество, шт.	Пропускная мощность групп номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС-35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК», $\Sigma S_{ном}$, кВА после реконструкции	Потери холостого хода одного СТ с очетанием напряжений 35/10(6) кВ, $P_{хх}$, Вт	Потери короткого замыкания одного СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, $P_{к.з.}$, Вт
Systeme 3AL/9t	2500	7	17500	5400	20000
SC(Z)B9	3150	3	9450	6750	25800
Systeme 3AL/9t	4000	13	52000	7830	27100
Systeme 3AL/9t	6300	14	88200	11070	37500
SC(Z)B9	8000	7	56000	12600	47700
SC(Z)B9	10000	21	210000	14400	58500
SC(Z)B9	16000	14	224000	20000	64000
		79	657150		

В результате такой реконструкции существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» двухобмоточными сухими СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ серии SC(Z)B9 и Systeme3AL/9t промышленной частоты пропускная способность электросети увеличится в 1,01 раза.

По результатам расчета на рис. 7 представлены зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\Sigma W_{АКТ.ГРУПП.СТ}^{ГОД} = f(S_{НОМ})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и Systeme3AL/9t промышленной частоты с сочетанием

напряжений 35/10(6) кВ, планируемых к установке в существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ ГУП ЛНР «РСК» при следующих значениях коэффициента нагрузки $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и 1,0.

Анализ рис. 7 позволяет сделать заключение о том, что:

– при изменении нагрузки от K_3 от 0 до 0,25 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и Systeme3AL/9t с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского ГУП ЛНР «РСК» после реконструкции, суммарные основные годовые

потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ увеличатся в 1,003 – 1,06 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС;

– при изменении коэффициента нагрузки K_3 от 0,5 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих

СТ серии SC(Z)B9 и Systeme3AL/9t с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ снизятся в 1,08 – 1,17 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС.

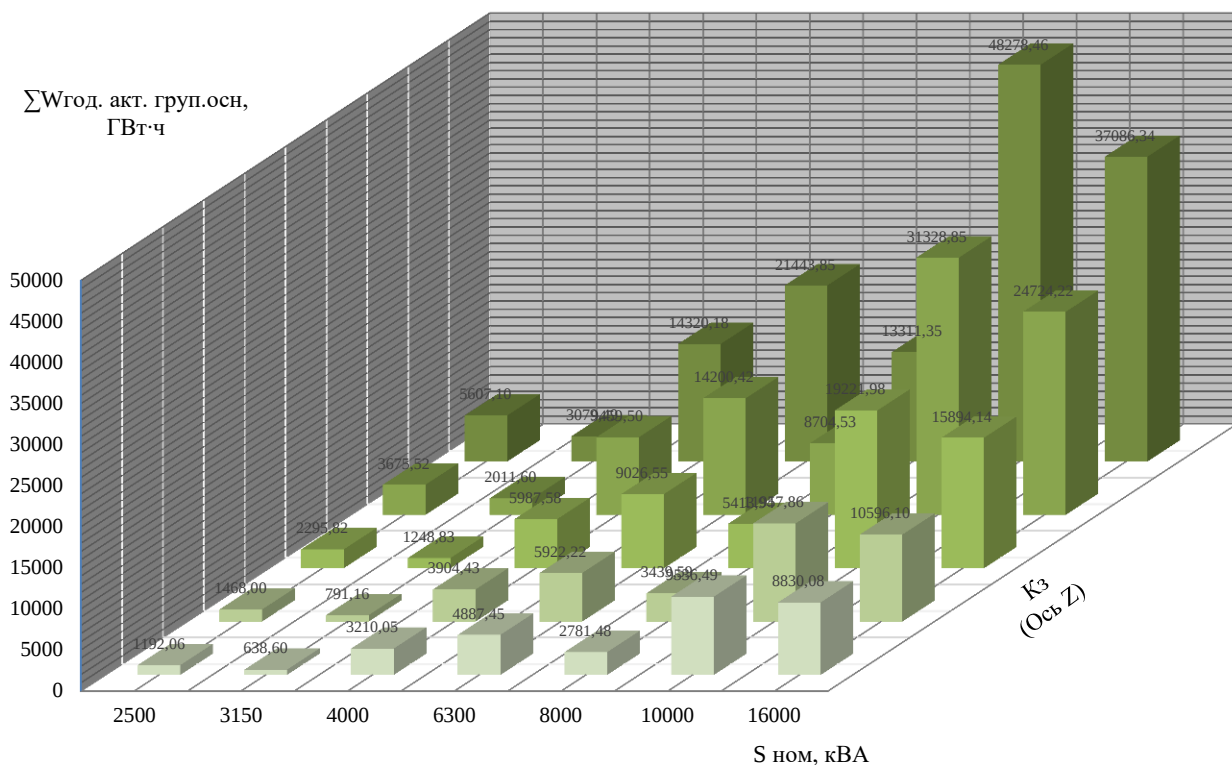


Рис. 7. Зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}} = f(S_{\text{НОМ}})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и Systeme3AL/9t с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке в понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» при коэффициентах нагрузки $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и 1,0 (по оси Z)

Дальнейшие исследования показали, что при изменении нагрузки K_3 :

– от 0 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и Systeme3AL/9t с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ суммарные основные

годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ будут составлять 5,45 – 25,09 % от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающего из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,34 – 6,18 раза

выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии при ее передаче по ЕНЭС с уровнем напряжения «220 кВ и ниже» [6];

– наибольшие потери от прироста нагрузки придутся на группы двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и Systeme3AL/9t с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ номинальной мощностью: 4000; 6300; 10000 и 16000 кВА.

Учитывая вышесказанное, после такой реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» суммарные основные годовые потери активной электроэнергии в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и Systeme3AL/9t с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут оставаться высокими.

Вариант 6. Определение основных годовых потерь активной электроэнергии при ее трансформации в группах номинальной мощности, компонуемых из двухобмоточных СТ серии SC(Z)B9 производства компании CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) и серии TMCRES – S производства «TMC Transformers» (Италия), выполненных с литой изоляцией и сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Для минимизации основных потерь активной электроэнергии при ее трансформации в существующей РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предлагается рассмотреть вариант реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ с заменой морально устаревшего массива двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ [2] на группы номинальной мощности двухобмоточных СТ серии:

– TMCRES – S, выполненных с литой изоляцией промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 6 %, стандартными потерями аналогичного сочетания напряжений номиналом: 2500 и 3150 кВА производства компании TMC Transformers» (Италия) [12];

– SC(Z)B9, выполненных с литой изоляцией промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 8 – 9 %, аналогичного сочетания напряжений номиналом: 4000; 6300; 8000; 10000 и 16000 кВА производства CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) [7].

Двухобмоточные сухие СТ серии TMCRES – S выполнены в соответствии со следующими стандартами: IEC 60076 – 11 и EN 50541 – 1.

При выполнении расчетов делаем допущение о том, что расчетная температура, к которой приводятся потери и напряжение короткого замыкания, принимается равной 120°C для групп номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии TMCRES – S.

После реконструкции существующих понизительных ПС 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предполагаемое количество и суммарная номинальная мощность компонуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – S промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут такими, как это представлено в табл. 6.

В результате такой реконструкции существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» двухобмоточными сухими СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ серии SC(Z)B9 и TMCRES – S промышленной частоты пропускная способность электросети увеличится в 1,01 раза.

По результатам расчета на рис. 8 представлены зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ.}}^{\text{ГОД}} = f(S_{\text{НОМ}})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – S промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, планируемых к установке в существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ ГУП ЛНР «РСК» при следующих значениях коэффициента нагрузки $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и 1,0.

Таблица 6

Число и суммарная номинальная мощность компокуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – S промышленной частоты и уровнем напряжения короткого замыкания 6 – 9% с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, принимаемых к установке после реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Название серии СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ	Номинальная мощность СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ $S_{ном}$, кВА	Количество, шт.	Пропускная мощность групп номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС-35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК», $\sum S_{ном}$, кВА после реконструкции	Потери холостого хода одного СТ с очетанием напряжений 35/10(6) кВ, $P_{хх}$, Вт	Потери короткого замыкания одного СТ сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, $P_{к.з.}$, Вт
TMCRES – S	2500	7	17500	5800	22500
TMCRES – S	3150	3	9450	6700	27500
SC(Z)B9	4000	13	52000	7830	31000
SC(Z)B9	6300	14	88200	11000	43000
SC(Z)B9	8000	7	56000	12600	47700
SC(Z)B9	10000	21	210000	14400	58500
SC(Z)B9	16000	14	224000	20000	64000
		79	657150		

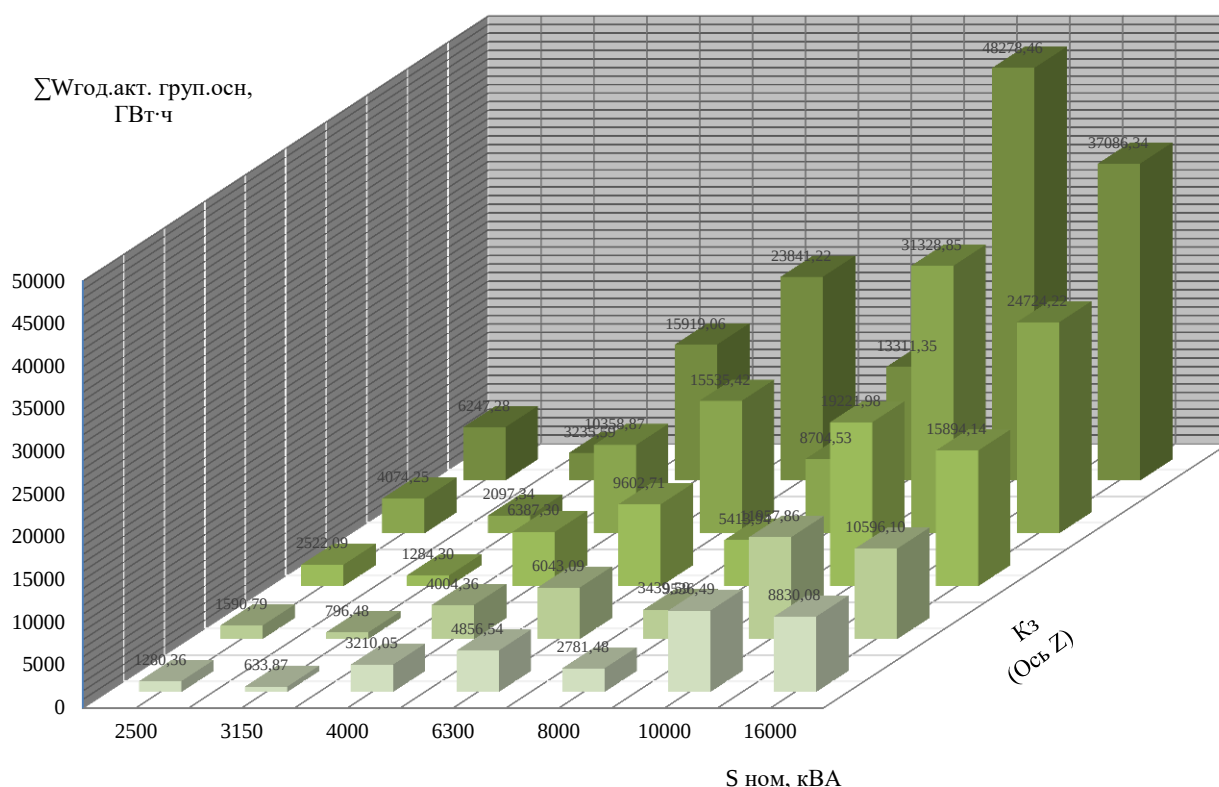


Рис. 8. Зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии $\sum W_{акт.групп.ст}^{год} = f(S_{ном})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – S с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке в понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» при коэффициентах нагрузки $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и 1,0 (по оси Z)

Анализ рис. 8 позволяет сделать заключение о том, что:

– при изменении нагрузки K_3 от 0 до 0,25 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – S с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» после реконструкции, суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ увеличатся в 1,01 – 1,06 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС;

– при изменении коэффициента нагрузки K_3 от 0,5 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – S с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ снизятся в 1,06 – 1,13 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС.

Дальнейшие исследования показали, что при изменении нагрузки K_3 :

– от 0 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – S с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ будут составлять 5,46 – 25,93 % от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающего из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения и будут в 1,34 – 6,39 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии при ее передаче по ЕНЭС с уровнем напряжения «220 кВ и ниже» [6];

– наибольшие потери от прироста нагрузки придется на группы двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – S с

сочетанием напряжений 35/10(6) кВ номинальной мощностью: 4000; 6300 и 10000 и 16000 кВА.

Учитывая вышесказанное, после такой реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» суммарные основные годовые потери активной электроэнергии в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – S с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут оставаться высокими.

Вариант 7. Определение основных годовых потерь активной электроэнергии при ее трансформации в группах номинальной мощности, komponуемых из двухобмоточных СТ серии SC(Z)B9 производства компании CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) и серии TMCRES – R производства «TMC Transformers» (Италия), выполненных с литой изоляцией и сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Для минимизации основных потерь активной электроэнергии при ее трансформации в существующей РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предлагается рассмотреть вариант реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ с заменой морально устаревшего массива двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ [2] на группы номинальной мощности двухобмоточных СТ серии:

– TMCRES – R, выполненных с литой изоляцией промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 6 %, сниженными потерями аналогичного сочетания напряжений номиналом: 2500 и 3150 кВА производства компании TMC Transformers» (Италия) [12];

– SC(Z)B9, выполненных с литой изоляцией промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 8 – 9 %, аналогичного сочетания напряжений номиналом: 4000; 6300; 8000; 10000 и 16000 кВА производства CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) [7].

Двухобмоточные сухие СТ серии TMCRES – R выполнены в соответствии со следующими стандартами: IEC 60076 – 11 и EN 50541 – 1.

При выполнении расчетов делаем допущение о том, что расчетная температура, к которой приводятся потери и напряжение короткого замыкания, принимается равной 120°C для групп номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии TMCRES – R.

После реконструкции существующих понизительных ПС 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ

Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предполагаемое количество и суммарная номинальная мощность компоуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – R промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут такими, как это представлено в табл. 7.

Таблица 7

Число и суммарная номинальная мощность компоуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – R промышленной частоты и уровнем напряжения короткого замыкания 6 – 9% с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, принимаемых к установке после реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Название серии СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ	Номинальная мощность СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ $S_{ном}$, кВА	Количество, шт.	Пропускная мощность групп номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС-35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК», $\sum S_{ном}$, кВА после реконструкции	Потери холостого хода одного СТ с очетанием напряжений 35/10(6) кВ, $P_{хх}$, Вт	Потери короткого замыкания одного СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, $P_{к.з.}$, Вт
TMCRES – R	2500	7	17500	4200	22500
TMCRES – R	3150	3	9450	5000	27500
SC(Z)B9	4000	13	52000	7830	31000
SC(Z)B9	6300	14	88200	11000	43000
SC(Z)B9	8000	7	56000	12600	47700
SC(Z)B9	10000	21	210000	14400	58500
SC(Z)B9	16000	14	224000	20000	64000
		79	657150		

В результате такой реконструкции существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» двухобмоточными сухими СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ серии SC(Z)B9 и TMCRES – R промышленной частоты пропускная способность электросети увеличится в 1,01 раза.

По результатам расчета на рис. 9 представлены зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{АКТ.ГРУП.СТ}^{ГОД} = f(S_{НОМ})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – R промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, планируемых к установке в существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ ГУП ЛНР «РСК» при следующих

значениях коэффициента нагрузки $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и $1,0$.

Анализ рис. 9 позволяет сделать заключение о том, что:

– при отсутствии нагрузки ($K_3 = 0$) в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – R с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» после реконструкции, суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{АКТ.ГРУП.СТ}^{ГОД}$ увеличатся в 1,04 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС;

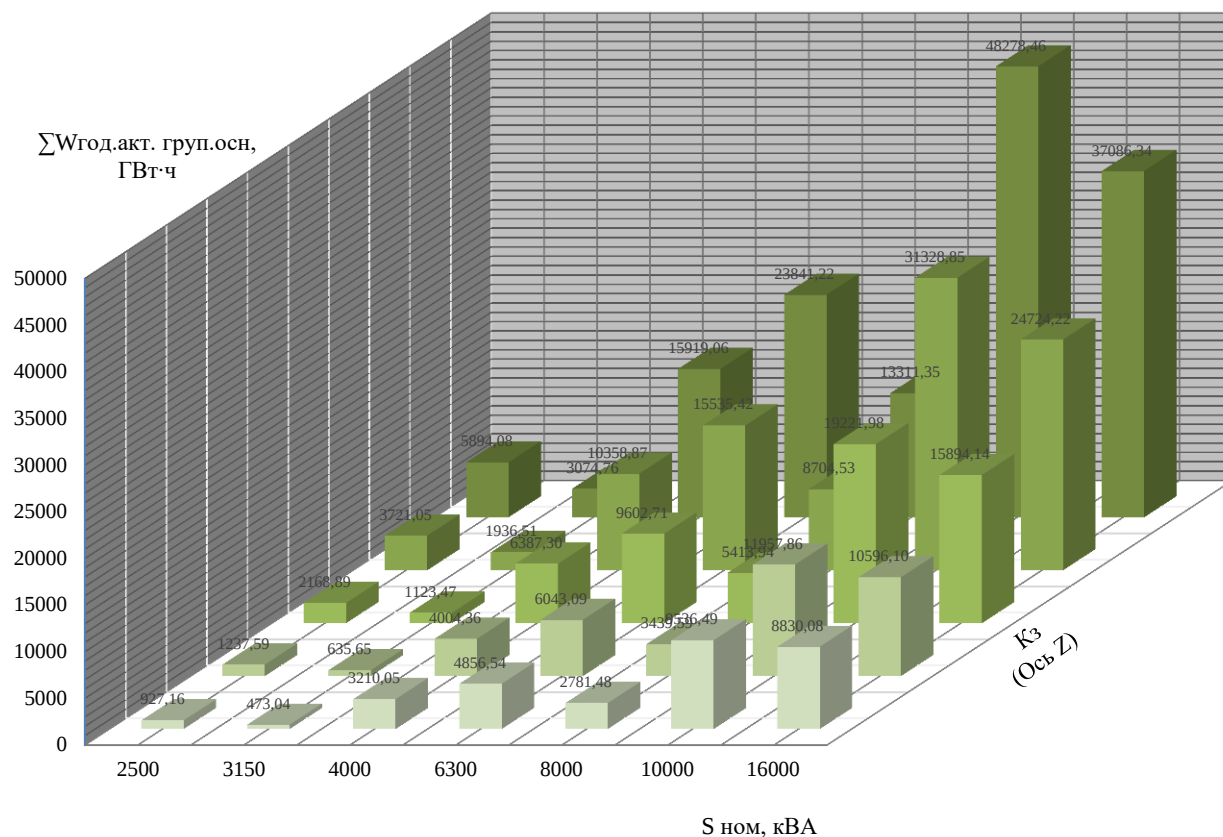


Рис. 9. Зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}} = f(S_{\text{НОМ}})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – R с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке в понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» при коэффициентах нагрузки $K_z = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и 1,0 (по оси Z)

– при изменении нагрузки K_z от 0,25 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – R с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» после реконструкции, суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ снизятся в 1,001 – 1,14 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС;

– от 0 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – R с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ будут составлять 5,37 – 25,84 % от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающего из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,32 – 6,36 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии при ее передаче по ЕНЭС с уровнем напряжения «220 кВ и ниже» [6];

– наибольшие потери от прироста нагрузки придутся на группы двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – R с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ

номинальной мощностью: 4000; 6300; 10000 и 16000 кВА.

Учитывая вышесказанное, после такой реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» суммарные основные годовые потери активной электроэнергии в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – R с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут оставаться высокими.

Вариант 8. Определение основных годовых потерь активной электроэнергии при ее трансформации в группах номинальной мощности, компонуемых из двухобмоточных СТ серии SC(Z)B9 производства компании CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) и серии TMCRES – H производства «TMC Transformers» (Италия), выполненных с литой изоляцией и сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Для минимизации основных потерь активной электроэнергии при ее трансформации в существующей РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предлагается рассмотреть вариант реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ с заменой морально устаревшего массива двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ [2] на группы номинальной мощности двухобмоточных СТ серии:

– TMCRES – H, выполненных с литой изоляцией промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 6 %, минимальными потерями аналогичного сочетания напряжений номиналом: 1000; 1600; 2000; 2500 и 3150 кВА производства компании TMC Transformers» (Италия) [12];

– SC(Z)B9, выполненных с литой изоляцией промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 8 – 9 %, аналогичного

сочетания напряжений номиналом: 4000; 6300; 8000; 10000; 16000 и 20000 кВА производства CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) [7].

Двухобмоточные сухие СТ серии TMCRES – H выполнены в соответствии со следующими стандартами: IEC 60076 – 11 и EN 548 – 14.

При выполнении расчетов делаем допущение о том, что расчетная температура, к которой приводятся потери и напряжение короткого замыкания, принимается равной 120°C для групп номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии TMCRES – H.

После реконструкции существующих понизительных ПС 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предполагаемое количество и суммарная номинальная мощность компонуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – H промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут такими, как это представлено в табл. 8.

В результате такой реконструкции существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» двухобмоточными сухими СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ серии SC(Z)B9 и TMCRES – H промышленной частоты пропускная способность электросети увеличится в 1,01 раза.

По результатам расчета на рис. 10 представлены зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ.}}^{\text{ГОД}} = f(S_{\text{НОМ}})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – H промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, планируемых к установке в существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ ГУП ЛНР «РСК» при следующих значениях коэффициента нагрузки $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и 1,0.

Таблица 8

Число и суммарная номинальная мощность компоуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – Н промышленной частоты и уровнем напряжения короткого замыкания 6 – 9% с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, принимаемых к установке после реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Название серии СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ	Номинальная мощность СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ $S_{ном}$, кВА	Количество, шт.	Пропускная мощность групп номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС-35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК», $\sum S_{ном}$, кВА после реконструкции	Потери холостого хода одного СТ с очетанием напряжений 35/10(6) кВ, $P_{хх}$, Вт	Потери короткого замыкания одного СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, $P_{к.з.}$, Вт
TMCRES – Н	2500	7	17500	3565	20900
TMCRES – Н	3150	3	9450	4370	24200
SC(Z)B9	4000	13	52000	7830	31000
SC(Z)B9	6300	14	88200	11000	43000
SC(Z)B9	8000	7	56000	12600	47700
SC(Z)B9	10000	21	210000	14400	58500
SC(Z)B9	16000	14	224000	20000	64000
		79	657150		

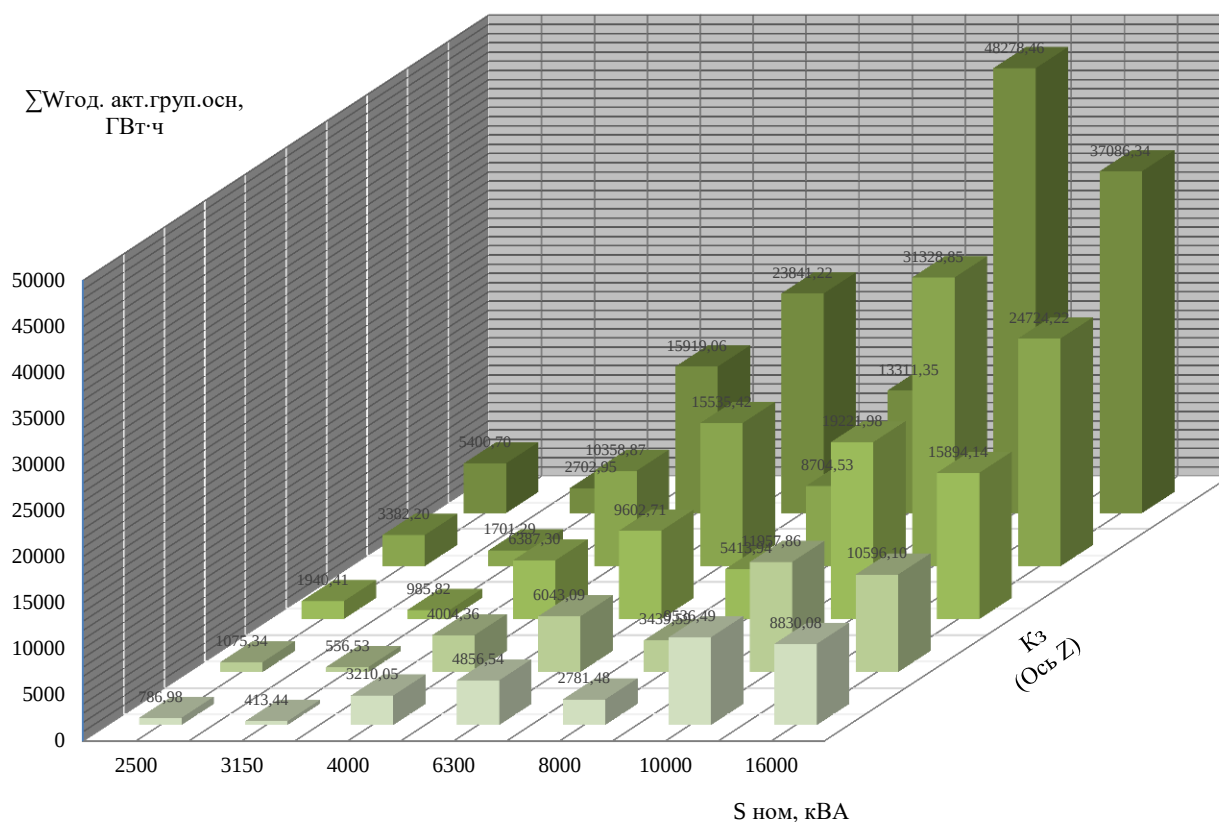


Рис. 10. Зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{акт. групп. осн.}^{год} = f(S_{ном})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – Н с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке в понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» при коэффициентах нагрузки $K_z = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и $1,0$ (по оси Z)

Анализ рис. 10 позволяет сделать заключение о том, что:

- при отсутствии нагрузки ($K_3=0$) в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – Н с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» после реконструкции, суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ увеличатся в 1,04 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС;

- при изменении нагрузки K_3 от 0,25 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – Н с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» после реконструкции, суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ снизятся в 1,01 – 1,14 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС;

- от 0 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – Н с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ будут составлять 5,33 – 25,69 % от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающего из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания

- «Россети» общего назначения, и будут в 1,31 – 6,33 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии при ее передаче по ЕНЭС с уровнем напряжения «220 кВ и ниже» [6];

- наибольшие потери от прироста нагрузки придутся на группы двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – Н с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ номинальной мощностью: 4000; 6300; 10000 и 16000 кВА.

Учитывая вышесказанное, после такой реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» суммарные основные годовые потери активной электроэнергии в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TMCRES – Н с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут оставаться высокими.

Вариант 9. Определение основных годовых потерь активной электроэнергии при ее трансформации в группах номинальной мощности, komponуемых из двухобмоточных СТ серии SC(Z)B9 производства компании CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) и серии Zucchini производства Группа Legrand (Франция), выполненных с литой изоляцией и сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Для минимизации основных потерь активной электроэнергии при ее трансформации в существующей РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предлагается рассмотреть вариант реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ с заменой морально устаревшего массива двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ [2] на группы номинальной мощности двухобмоточных СТ серии:

– Zucchini (красные трансформаторы), выполненных с литой изоляцией, уровнем потерь NL, промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 7 – 8 %, аналогичного сочетания напряжений номиналом: 1000; 1600; 2000 и 2500 кВА производства группы Legrand (Франция) [13];

– SC(Z)B9, выполненных с литой изоляцией промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 8 – 9 %, аналогичного сочетания напряжений номиналом: 3150; 4000; 6300; 8000; 10000; 16000 и 20000 кВА производства CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) [7].

Двухобмоточные сухие СТ серии Zucchini выполнены в соответствии со следующими стандартами: IEC 60076 – 11.

При выполнении расчетов делаем допущение о том, что расчетная температура, к которой приводятся потери и напряжение короткого замыкания, принимается равной 120°C для групп номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии Zucchini.

После реконструкции существующих понизительных ПС 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предполагаемое количество и суммарная номинальная мощность компоуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и Zucchini промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут такими, как это представлено в табл. 9.

Таблица 9

Число и суммарная номинальная мощность компоуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и Zucchini промышленной частоты и уровнем напряжения короткого замыкания 7 – 9% с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, принимаемых к установке после реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Название серии СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ	Номинальная мощность СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ S _{ном} , кВА	Количество, шт.	Пропускная мощность групп номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС-35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК», $\sum S_{ном}$, кВА после реконструкции	Потери холостого хода одного СТ с очетанием напряжений 35/10(6) кВ, P _{хх} , Вт	Потери короткого замыкания одного СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, P _{к.з.} , Вт
EO5NAQBA (Zucchini)	2500	7	17500	5200	22000
SC(Z)B9	3150	3	9450	6750	25800
SC(Z)B9	4000	13	52000	7830	31000
SC(Z)B9	6300	14	88200	11000	43000
SC(Z)B9	8000	7	56000	12600	47700
SC(Z)B9	10000	21	210000	14400	58500
SC(Z)B9	16000	14	224000	20000	64000
		79	657150		

В результате такой реконструкции существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» двухобмоточными сухими СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ серии SC(Z)B9 и Zucchini промышленной частоты пропускная способность электросети увеличится в 1,01 раза.

По результатам расчета на рис. 11 представлены зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{АКТ,ГРУПП.СТ}^{ГОД} = f(S_{НОМ})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и Zucchini промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, планируемых к установке в существующих

понижительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ ГУП ЛНР «РСК» при следующих

значениях коэффициента нагрузки $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и $1,0$.

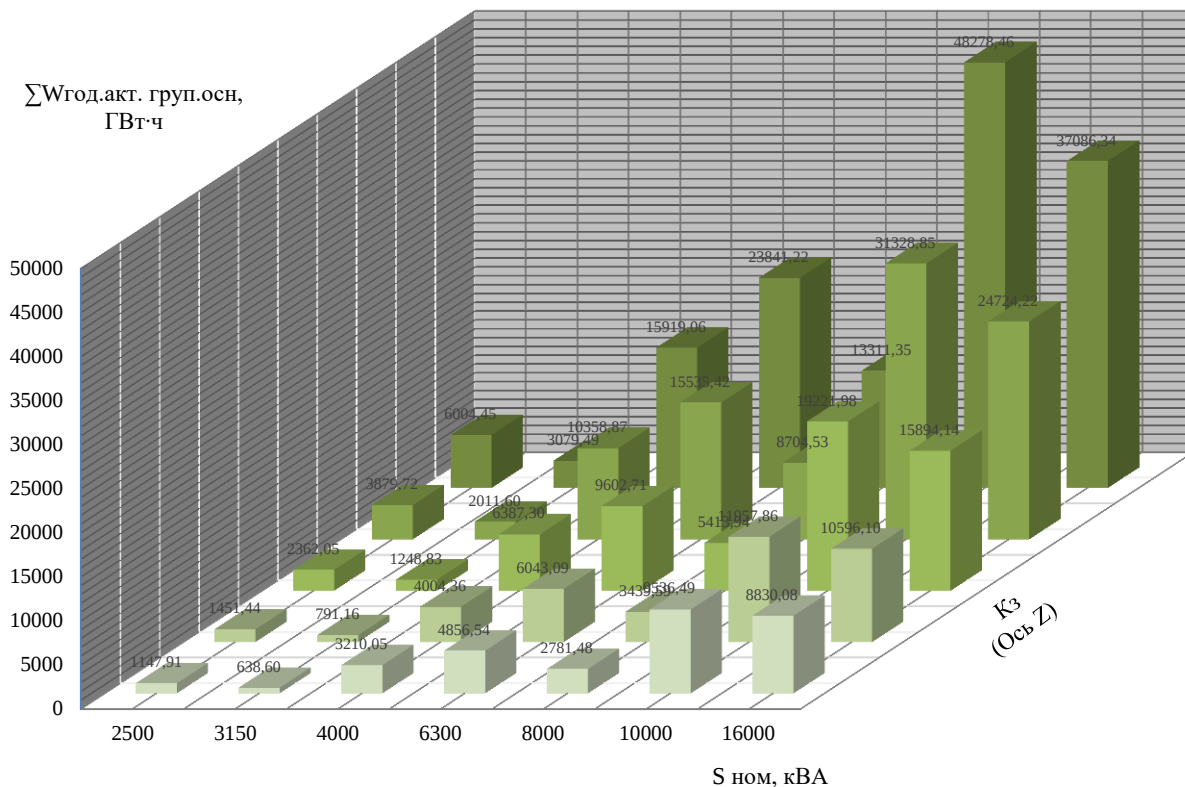


Рис. 11. Зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\Sigma W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}} = f(S_{\text{НОМ}})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и Zucchini с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке в понижительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» при коэффициентах нагрузки $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и $1,0$ (по оси Z)

Анализ рис. 11 позволяет сделать заключение о том, что:

– при изменении нагрузки K_3 от 0 до 0,25 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и Zucchini с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понижительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» после реконструкции, суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\Sigma W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ увеличатся в 1,01 – 1,06 раза в сравнении с существующими основными

потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС;

– при изменении коэффициента нагрузки K_3 от 0,5 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и Zucchini с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\Sigma W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ снизятся в 1,06 – 1,13 раза в сравнении с существующими основными

потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС.

Дальнейшие исследования показали, что при изменении нагрузки K_3 :

- от 0 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и **Zucchini** с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ будут составлять 5,43 – 25,86 % от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающего из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,34 – 6,37 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии при ее передаче по ЕНЭС с уровнем напряжения «220 кВ и ниже» [6];

- наибольшие потери от прироста нагрузки придется на группы двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и **Zucchini** с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ номинальной мощностью: 4000; 6300; 10000 и 16000 кВА.

Учитывая вышесказанное, после такой реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» суммарные основные годовые потери активной электроэнергии в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и **Zucchini** с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут оставаться высокими.

Вариант 10. Определение основных годовых потерь активной электроэнергии при ее трансформации в группах номинальной мощности компонуемых из двухобмоточных СТ серии SC(Z)B9 производства компании CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) и серии TTR – D A₀A_k (выполненные по Норме ЕС № 548/2014 – Этап 1) производства SEA (Италия), выполненных с литой изоляцией и

сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты

Для минимизации основных потерь активной электроэнергии при ее трансформации в существующей РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предлагается рассмотреть вариант реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ с заменой морально устаревшего массива двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ [2] на группы номинальной мощности двухобмоточных СТ серии:

- TTR – D A₀A_k ECO+P, выполненных с литой изоляцией, уровнем потерь A₀A_k, промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 6 и 8 %, аналогичного сочетания напряжений номиналом: 2500 и 3150 кВА производства SEA (Италия) [14];

- SC(Z)B9, выполненных с литой изоляцией промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 8 – 9 %, аналогичного сочетания напряжений номиналом: 4000; 6300; 8000; 10000 и 16000 кВА производства CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) [7].

Двухобмоточные сухие СТ серии TTR – D A₀A_k ECO+P выполнены в соответствии со следующими стандартами: EN 50588 – 1: 2015 и Нормой ЕС 548/2014 – Этап 1.

При выполнении расчетов делаем допущение о том, что расчетная температура, к которой приводятся потери и напряжение короткого замыкания, принимается равной 75°C для групп номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии TTR – D A₀A_k ECO+P.

После реконструкции существующих понизительных ПС 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предполагаемое количество и суммарная номинальная мощность компонуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀A_k ECO+P промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут такими, как это представлено в табл. 10.

Таблица 10

Число и суммарная номинальная мощность компоуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀A_k ECO+P промышленной частоты и уровнем напряжения короткого замыкания 6, 8 – 9% с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, принимаемых к установке после реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Название серии СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ	Номинальная мощность СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ S _{ном} , кВА	Количество, шт.	Пропускная мощность групп номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС-35кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК», $\Sigma S_{ном}$, кВА после реконструкции	Потери холостого хода одного СТ с очетанием напряжений 35/10(6) кВ, P _{хх} , Вт	Потери короткого замыкания одного СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, P _{к.з.} , Вт
TTR – D A ₀ A _k ECO+P	2500	7	17500	3565	18700
TTR – D A ₀ A _k ECO+P	3150	3	9450	4370	21615
SC(Z)B9	4000	13	52000	7830	31000
SC(Z)B9	6300	14	88200	11000	43000
SC(Z)B9	8000	7	56000	12600	47700
SC(Z)B9	10000	21	210000	14400	58500
SC(Z)B9	16000	14	224000	20000	64000
		79	657150		

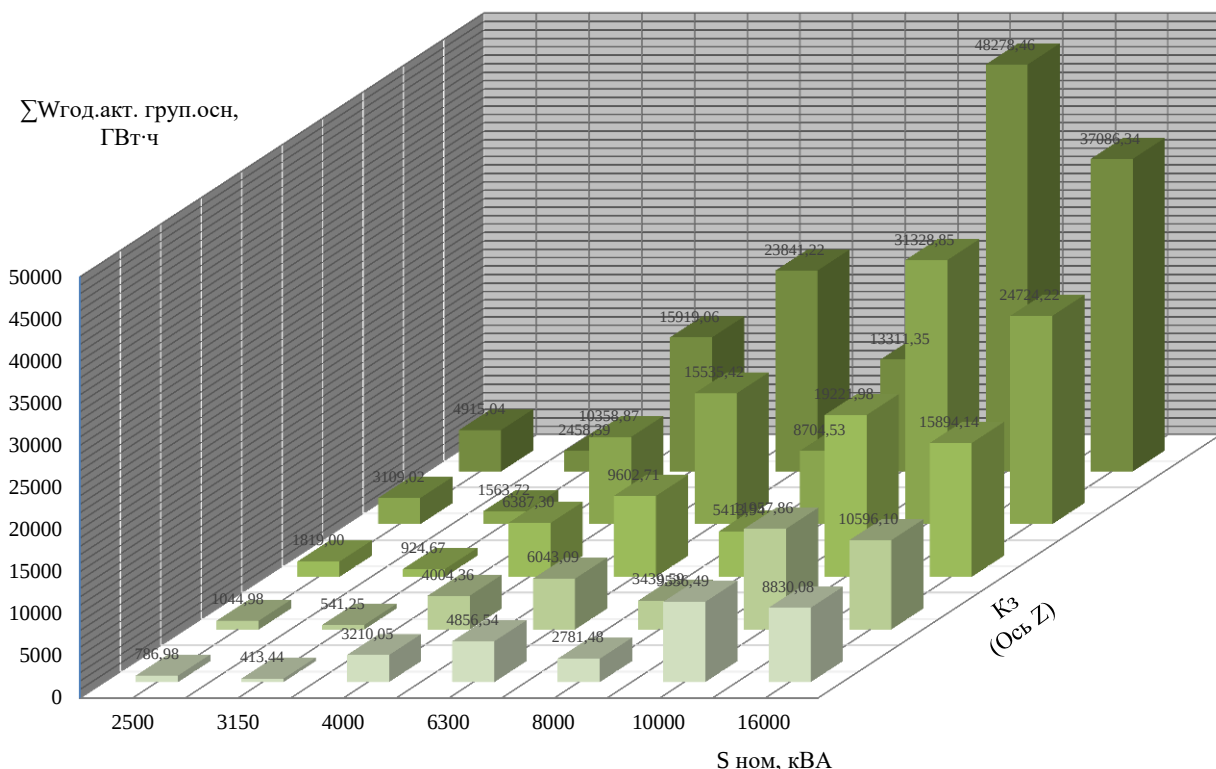


Рис. 12. Зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\Sigma W_{\text{акт.групп.ст}}^{\text{ГОД}} = f(S_{\text{ном}})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀A_k ECO+P с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке в понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» при коэффициентах нагрузки $K_z = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и $1,0$ (по оси Z)

В результате такой реконструкции существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» двухобмоточными сухими СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀A_k ECO+P промышленной частоты пропускная способность электросети увеличится в 1,01 раза.

По результатам расчета на рис. 12 представлены зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}} = f(S_{\text{НОМ}})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀A_k ECO+P промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, планируемых к установке в существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ ГУП ЛНР «РСК» при следующих значениях коэффициента нагрузки $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и 1,0.

Анализ рис. 12 позволяет сделать заключение о том, что:

– при отсутствии нагрузки ($K_3 = 0$) в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀A_k ECO+P с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» после реконструкции, суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ увеличатся в 1,04 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС;

– при изменении нагрузки K_3 от 0,25 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и

TTR – D A₀A_k ECO+P с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» после реконструкции, суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ снизятся в 1,01 – 1,15 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС;

– при изменении нагрузки K_3 от 0 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀A_k ECO+P с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ будут составлять 5,33 – 25,56 % от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающего из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,31 – 6,30 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии при ее передаче по ЕНЭС с уровнем напряжения «220 кВ и ниже» [6];

– наибольшие потери от прироста нагрузки придутся на группы двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀A_k ECO+P с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ номинальной мощностью: 4000; 6300; 10000 и 16000 кВА.

Учитывая вышесказанное, после такой реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» суммарные основные годовые потери активной электроэнергии в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀A_k ECO+P с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут оставаться высокими.

Вариант 11. Определение основных годовых потерь активной электроэнергии при ее трансформации в группах номинальной мощности коммутуемых из двухобмоточных СТ серии SC(Z)B9 производства компании CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) и серии TTR – D A₀–10%A_k ECO+P (выполненные по Норме ЕС № 548/2014 – Этап 2) производства SEA (Италия), выполненных с литой изоляцией и сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты.

Для минимизации основных потерь активной электроэнергии при ее трансформации в существующей РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предлагается рассмотреть вариант реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ с заменой морально устаревшего массива двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ [2] на группы номинальной мощности двухобмоточных СТ серии:

- TTR – D A₀ –10%A_k ECO+P, выполненных с литой изоляцией, уровнем потерь A₀ – 10%A_k, промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 6 %, аналогичного сочетания напряжений номиналом: 2500 и 3150 кВА производства SEA (Италия) [15];

- SC(Z)B9, выполненных с литой изоляцией промышленной частоты, уровнем напряжения короткого замыкания 8 – 9 %, аналогичного сочетания напряжений номиналом: 4000; 6300; 8000; 10000 и 16000 кВА производства CNC Electric Group Co., Ltd (Китай) [7].

Двухобмоточные сухие СТ серии TTR – D A₀ –10%A_k ECO+P выполнены в соответствии со следующими стандартами: EN 50588 – 1: 2015 и Нормой ЕС 548/2014 – Этап 2.

При выполнении расчетов делаем допущение о том, что расчетная температура, к которой приводятся потери и напряжение короткого замыкания, принимается равной 75°C для групп номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии TTR – D A₀ – 10%A_k ECO+P.

После реконструкции существующих понизительных ПС 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» предполагаемое количество и суммарная номинальная мощность коммутуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀ – 10%A_k ECO+P промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут такими, как это представлено в табл. 11.

В результате такой реконструкции существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» двухобмоточными сухими СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀–10%A_k ECO+P промышленной частоты пропускная способность электросети возрастет в 1,01 раза.

По результатам расчета на рис. 13 представлены зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ.}}^{\text{ГОД}} = f(S_{\text{НОМ}})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀–10%A_k ECO+P промышленной частоты с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, планируемых к установке в существующих понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ ГУП ЛНР «РСК» при следующих значениях коэффициента нагрузки $K_3 = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и 1,0.

Таблица 11

Число и суммарная номинальная мощность компоуемых групп двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀–10%A_k ECO+P промышленной частоты и уровнем напряжения короткого замыкания 6, 8 – 9% с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, принимаемых к установке после реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснодарского региона ГУП ЛНР «РСК»

Название серии СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ	Номинальная мощность СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ S _{ном} , кВА	Количество, шт.	Пропускная мощность групп номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС-35кВ Краснодарского региона ГУП ЛНР «РСК», $\Sigma S_{ном}$, кВА после реконструкции	Потери холостого хода одного СТ с очетанием напряжений 35/10(6) кВ, P _{хх} , Вт	Потери короткого замыкания одного СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, P _{к.з.} , Вт
TTR – D A ₀ –10%A _k ECO+P	2500	7	17500	3209	18700
TTR – D A ₀ –10%A _k ECO+P	3150	3	9450	3933	21615
SC(Z)B9	4000	13	52000	7830	31000
SC(Z)B9	6300	14	88200	11000	43000
SC(Z)B9	8000	7	56000	12600	47700
SC(Z)B9	10000	21	210000	14400	58500
SC(Z)B9	16000	14	224000	20000	64000
		79	657150		

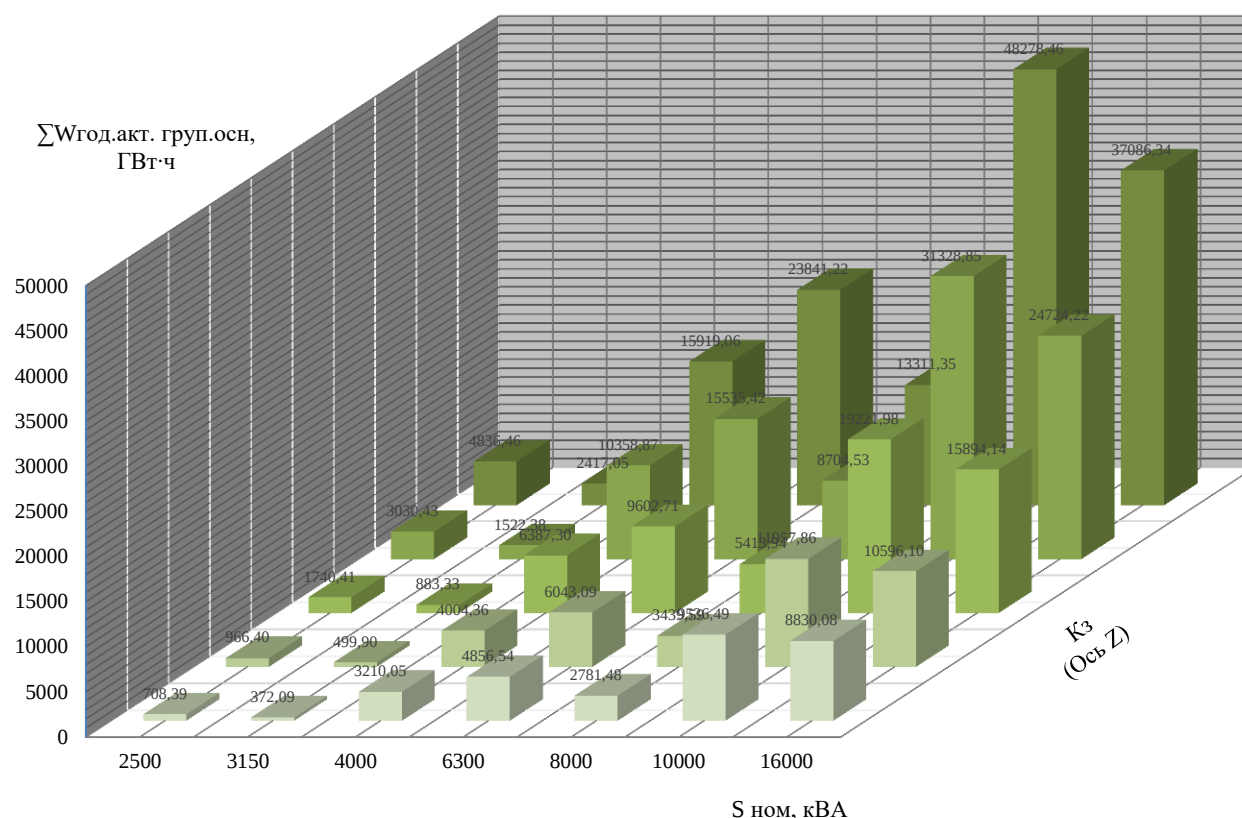


Рис. 13. Зависимости распределения суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии $\Sigma W_{\text{акт. групп. СТ}}^{\text{ГОД}} = f(S_{\text{НОМ}})$ в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀–10%A_k ECO+P с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке в понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснодарского региона ГУП ЛНР «РСК» при коэффициентах нагрузки $K_z = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и $1,0$ (по оси Z)

Анализ рис. 13 позволяет сделать заключение о том, что: при изменении нагрузки K_3 :

- при отсутствии нагрузки ($K_3 = 0$) в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀–10%A_k ECO+P с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» после реконструкции, суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ снизятся в 1,03 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС;

- при изменении нагрузки K_3 от 0,25 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀–10%A_k ECO+P с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» после реконструкции, суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ снизятся в 1,01 – 1,15 раза в сравнении с существующими основными потерями активной электроэнергии, возникающими в массиве двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в этих ПС;

- от 0 до 1,0 в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀ – 10%A_k ECO+P с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации

$\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ будут составлять 5,31 – 25,54 % от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающего из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,31 – 6,29 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии при ее передаче по ЕНЭС с уровнем напряжения «220 кВ и ниже» [6];

- наибольшие потери от прироста нагрузки придутся на группы двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀–10%A_k ECO+P с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ номинальной мощностью: 4000; 6300; 10000 и 16000 кВА.

Учитывая вышесказанное, после такой реконструкции понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» суммарные основные годовые потери активной электроэнергии в группах номинальной мощности двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и TTR – D A₀–10%A_k ECO+P с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ будут оставаться высокими.

В табл.12. представлены сводные результаты расчета суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации в процентном отношении $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}} (\%)$ от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающего из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения и относительного превышения этих суммарных годовых потерь активной электроэнергии $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}} (\text{отн})$ над усредненным показателем норматива потерь электрической энергии при ее передаче по ЕНЭС с уровнем напряжения «220 кВ и ниже», полученные при компоновки вариантов №1 – №11 масляных и сухих двухобмоточных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ промышленной частоты на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» после планируемой реконструкции.

Таблица 12

Результаты расчета суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации в вариантах №1 – №11 компоновки групп номинальной мощности двухобмоточных масляных и сухих СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, промышленной частоты на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК»

Номер варианта компоновки групп СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ	1	2	3	4	5
$\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}} (\%)$	3,79 – 22,39	5,44 – 25,90	5,77 – 23,24	5,80 – 23,79	5,45 – 25,09
$\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}} (\text{отн})$	0,93 – 5,51	1,34 – 6,38	1,42 – 5,72	1,43 – 5,86	1,34 – 6,18
Номер варианта компоновки групп СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ	6	7	8	9	10
$\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}} (\%)$	5,46 – 25,93	5,37 – 25,84	5,33 – 25,69	5,43 – 25,86	5,33 – 25,56
$\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}} (\text{отн})$	1,34 – 6,39	1,32 – 6,36	1,31 – 6,33	1,34 – 6,37	1,31 – 6,30
Номер варианта компоновки групп СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ	11				
$\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}} (\%)$	5,31 – 25,54				
$\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}} (\text{отн})$	1,31 – 6,29				

Анализ табл.12 позволяет сделать заключение о том, что реконструкция понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» с установкой групп номинальной мощности двухобмоточных масляных и сухих СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ предусмотренных в вариантах №1 и №3 в РЭС – 35 кВ обеспечат наименьшие суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации.

Выводы. В работе решена актуальная научно-техническая задача – минимизация основных потерь активной электроэнергии, возникающих на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона кВ ГУП ЛНР «РСК» при трансформации электрической энергии. Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Установлено, что при изменении нагрузки K_3 от 0 до 1,0 в массиве существующих двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ

промышленной частоты, эксплуатируемых на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» :

а) суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ будут составлять 5,14 – 29,35 % от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающего из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения [6];

б) суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУПП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ будут меньше в 10,35 – 10,66 раза суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии, возникающих при трансформации в существующем массиве масляных двухобмоточных СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ промышленной частоты, эксплуатируемых на понизительных трансформаторных подстанциях напряжением 10(6)/0,4 кВ в РЭС – 10(6) кВ ГУП ЛНР «РСК» [2; 3].

2. Установлено, что при изменении нагрузке K_3 от 0 до 1,0 в группах номинальной мощности:

– двухобмоточных масляных СТ серии S9 с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, планируемых к установке на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ В РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК», суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ будут составлять 3,79 – 22,39 % от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающего из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут меньше в 14,0 – 14,04 раза суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации, возникающих в существующем массиве масляных двухобмоточных СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ промышленной частоты, эксплуатируемых на понизительных трансформаторных подстанциях напряжением 10(6)/0,4кВ в РЭС – 10(6) кВ ГУП ЛНР «РСК» [2; 3; 6];

– двухобмоточных сухих СТ серии SC(Z)B9 и 4GB с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ суммарные основные годовые потери активной электроэнергии при трансформации $\sum W_{\text{АКТ.ГРУП.СТ}}^{\text{ГОД}}$ будут составлять 5,77 – 23,24 % от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающего из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут меньше в 9,22 – 13,50 раза суммарных основных годовых потерь активной электроэнергии при трансформации, возникающих в существующем массиве масляных двухобмоточных СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ промышленной частоты, эксплуатируемых на понизительных трансформаторных подстанциях напряжением 10(6)/0,4кВ в РЭС – 10(6) кВ ГУП ЛНР «РСК» [2; 3; 6].

3. Для дальнейшего снижения суммарных основных и дополнительных потерь активной и

реактивной электроэнергии при трансформации в группах номинальной мощности двухобмоточных масляных и сухих СТ с сочетанием напряжений 35/10(6) кВ, предусмотренных вариантами №1 и №3 для установки на понизительных ПС напряжением 35/10(6) кВ в РЭС – 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК», рекомендуется использование в них фильтрокомпенсирующих устройств для подавления спектра высших гармоник [3].

Список источников

1. Ананичева, С. С. Проектирование электрических сетей: учеб. пособие / С.С. Ананичева, Е. Н. Котова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 164 с. [ISBN 978-5-7996-2040-0].
2. ГУП ЛНР «РСК» / Техническая информация / <http://www.guprsk.ru> (дата обращения 05.04.2021 года).
3. Парсентьев О.С. Влияние технологических факторов производства сухих трансформаторов на потери при трансформации электрической энергии в распределительных электрических сетях напряжением 6 – 10 кВ ГУП ЛНР «РСК» Единых национальных электрических сетей ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети»: монография/ О.С. Парсентьев. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля; ИП Орехов Д.А., – 2024. – 506 с.
4. Худяков З.И. Ремонт трансформаторов. Учебник для средн. проф.- техн. училищ. – 4 – е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1977. – 240 с.
5. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов: учеб. пособие для вузов. – 5 – е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 582 с.
6. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 30.11.2022 года № 1272 «Об утверждении нормативов потерь электрической энергии при ее передаче по единой национальной (общероссийской) электрической сети, осуществляемой публичным акционерным обществом «Федеральная сетевая компания – Россети» с использованием объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих публичному акционерному обществу «Федеральная сетевая компания – Россети» на праве собственности или ином законном

основании, на 2023 год» [Электронный ресурс]: – URL: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/23795/195515#:~text=yf> (дата обращения 03.10.2023 года).

7. Каталог силовых трансформаторов CNC Deliver /PowerForbetter/Life Power transformer/ Oil immersed transformer/ Dry-type transformer/<http://www.cncele.com> (дата обращения 12.07.2024 года).

8. Трансформаторы с изоляцией из литьевой смолы GEAFOL, 100-16 000 кВА/ Каталог TV1/2013: www.siemens.com/energy (дата обращения 13.07.2024 года).

9. Трансформаторы с литой изоляцией компании SGB-SMIT GROUP:<http://www.sgb-smit.com> (дата обращения 14.07.2024 года).

10. Подробные сведения к общим указаниям по проектированию, условиям установки и соединениям: www.sgb-trafo.de/de/productght.aspx (дата обращения 14.07.2024 года).

11. Трансформатор с литой изоляцией Systeme3AL/Технический каталог/<http://www.systeme.ru> (дата обращения 15.07.2024 года).

12. Техническое руководство TMC POWER ENERGY / Трансформаторы с литой изоляцией: www.tmctransformers.com (дата обращения 27.02.2024 года).

13. LEGRAND/Сухие трансформаторы с литой изоляцией для распределения и преобразования электроэнергии/ для тяговых преобразователей и специальных решений/<http://www.legrand.co.nz/#> (дата обращения 30.07. 2024 года)

14. ECODESIGN CAST RESIN TRANSFORMERS – TECHNICAL CATALOGUE/According to regulation EU №.548/2014 – Tier I/TTR ECO+P /Transforming the future/ <http://www.seatransformatori.it> (дата обращения 30.07.2024 года).

15. ECODESIGN CAST RESIN TRANSFORMERS – TECHNICAL CATALOGUE/According to regulation EU №.548/2014 – Tier II/TTR ECO+P /Transforming the future/ <http://www.seatransformatori.it> (дата обращения 30.07.2024 года).

References

1. Ananicheva, S. S. Design of electrical networks: textbook /S.S. Ananicheva, E. N. Kotova. -

Ekaterinburg: Publishing house of the Ural. University, 2017. – 164 p. [ISBN 978-5-7996-2040-0].

2. SUE of the LNR "RGC" / Technical information / <http://www.guprsk.ru> (date of access 05.04.2021).

3. Parsentev O.S. Influence of technological factors of dry-type transformer production on losses during electric energy transformation in 6-10 kV distribution electric networks of the SUE of the LPR «RSK» of the Unified National Electric Networks of the Federal Grid Company - Rosseti: monograph / O.S. Parsentev. – Lugansk: Publishing house of the Leningrad State University named after V. Dahl; IP Orekhov D.A., – 2024. – 506 p.

4. Khudyakov Z.I. Repair of transformers. Textbook for secondary vocational and technical schools. – 4th ed., revised and enlarged. – M.: Higher School, 1977. – 240 p.

5. Tikhomirov P.M. Calculation of transformers: textbook for universities. – 5th ed., revised. and add. – M.: Energoatomizdat, 1986. – 582 p.

6. Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated November 30, 2022 No. 1272 «On approval of standards for electric energy losses during its transmission through a single national (all-Russian) electric grid, carried out by the public joint-stock company Federal Grid Company – Rosseti using electric grid facilities owned by the public joint-stock company Federal Grid Company - Rosseti on the basis of ownership or other legal basis, for 2023» [Electronic resource]: – URL: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/23795/195515#:~text=yf> (date of access October 3, 2023).

7. Catalog of power transformers CNC Deliver /PowerForbetter/Life Power transformer/ Oil immersed transformer/ Dry-type transformer / <http://www.cncele.com> (date of access 12.07.2024).

8. Transformers with cast resin insulation GEAFOL, 100-16,000 kVA / Catalog TV1 / 2013: www.siemens.com/energy (date of access 13.07.2024).

9. Transformers with cast resin insulation of the company SGB-SMIT GROUP: <http://www.sgb-smit.com> (date of access 14.07.2024).

10. Detailed information on general design guidelines, installation conditions and connections: www.sgb-trafo.de/de/productght.aspx (date of access 14.07.2024).

11. Cast resin transformer Systeme3AL / Technical catalog / [http:// www.systeme.ru](http://www.systeme.ru) (date of access 15.07.2024).

12. Technical manual TMC POWER ENERGY / Cast resin transformers: www.tmctransformers.com (date of access 27.02.2024).

13. LEGRAND / Dry-type transformers with cast resin for distribution and conversion of electric power / for traction converters and special solutions / [http:// www.legrand.co.nz/#](http://www.legrand.co.nz/#) (date of access 30.07.2024).

14. ECODESIGN CAST RESIN TRANSFORMERS – TECHNICAL

CATALOGUE/According to regulation EU №.548/2014 – Tier I/TTR ECO+P /Transforming the future/ <http://www.seatransformatori.it> (data of treatment 30.07.2024).

15. ECODESIGN CAST RESIN TRANSFORMERS – TECHNICAL CATALOGUE/According to regulation EU №.548/2014 – Tier II/TTR ECO+P /Transforming the future/ <http://www.seatransformatori.it> (data of treatment 30.07.2024).

Статья поступила 20.09.2024 года

Информация об авторах

Парсентьев Олег Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика», Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Автор ID:1216808, SPIN-код:7974-9547;

ORCID: 0009-0005-1639-0730

E-mail: parsentevo@mail.ru

Information about the author

Parsentev Oleg Sergeevich, Candidate of Technical Science, Associate Professor, of the Department «Electrical Power Engineering», Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

Author ID: 1216808, SPIN-code: 7974-9547;

ORCID: 0009-0005-1639-0730

E-mail: parsentevo@mail.ru

Для цитирования:

Парсентьев О.С. Повышение технологичности и пропускной способности распределительных электрических сетей напряжением 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» путем реконструкции // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 7 (85). – С. 95-132.

For citations:

Parsentev O.S. Increasing the technologicality and capacity of 35 kV distribution electricity networks in the Krasnoluchsk region SUE LPR "RGC" by reconstruction // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – No. 7 (85). – P. 95-132.

**ВЕСТНИК ЛУГАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»
№ 7 (85) 2024
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

Оригинал-макет

Коломиец-Кириллова Е.А.

Подписано в печати 27.09.2024.
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Times
Условных печатных стр. 23,94. Тираж 100 экз. Изд. № 01474.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
Луганского государственного университета
имени Владимира Даля

Адрес издательства: 291034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20,а.
Тел.: 7(959) 138-34-80
E-mail: izdat.lguv.dal@gmail.com