

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачёва»

На правах рукописи

Воронов Антон Юрьевич

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ
КОМПЛЕКСОВ РАЗРЕЗОВ
(на примере АО «УК «Кузбассразрезуголь»)**

Специальность 05.05.06 – Горные машины

Д и с с е р т а ц и я
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук,
профессор А.А. Хорешок

Кемерово 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ.	8
1.1. Характеристика экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов УК «Кузбассразрезуголь».....	8
1.2. Анализ состояния и перспективы развития техники карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов	14
1.3. Проблемы оценки качества работы и проектирования карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов	17
Выводы	21
2. ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ ЭКСКАВАТОРНО- АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ РАЗРЕЗОВ	22
2.1. Анализ существующих методик оценки качества машин и комплексов ..	22
2.2. Функциональный критерий оценки качества работы карьерного экскаваторно-автомобильного комплекса	29
2.3. Формирование комплекса показателей качества работы экскаваторно-автомобильного комплекса разреза	35
2.4. Оценка качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов УК «Кузбассразрезуголь»	57
Выводы	75
3. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ.	77
3.1. Системный подход при проектировании карьерных экскаваторно- автомобильных комплексов и оптимизации их работы	77
3.2. Схема оптимизации параметров экскаваторно-автомобильного комплекса	79
3.3. Оптимизационная модель экскаваторно-автомобильного комплекса ...	82
3.3.1. Обоснование и формирование целевой функции	82
3.3.2. Моделирование ограничений и граничных условий	99
Выводы	102

4. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО РАБОТЫ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ	103
4.1. Формирование математической модели оптимизации	103
4.1.1. Определение констант целевой функции	103
4.1.2. Моделирование ограничений	104
4.2. Исследование математической модели оптимизации	106
4.2.1. Решение задачи оптимизации	106
4.2.2. Определение пределов изменения оптимизируемых параметров . .	111
4.2.3. Оптимизация параметров экскаваторно-автомобильных комплексов для осенне-весеннего периода года	117
4.3. Синтез оптимальных показателей работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов	122
4.3.1. Корректировка показателей работы экскаваторно-автомобильного комплекса разреза «Талдинский» под оптимальную продолжительность рабочей смены	135
4.3.2. Корректировка численности парков оптимального экскаваторно-автомобильного комплекса под фактические (требуемые) объёмы погрузки и перевозок на разрезе «Талдинский»	138
4.3.3. Порядок формирования смешанных парков техники с оптимальными параметрами	140
4.4. Экономическая оценка результатов оптимизации экскаваторно-автомобильного комплекса разреза	149
Выводы	155
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	156
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	158
ПРИЛОЖЕНИЯ	170

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Для выполнения вскрышных работ на карьерах широко используются мощные экскаваторно-автомобильные комплексы (ЭАК). Одной из основных проблем ЭАК является невысокий уровень качества их функционирования. От качества выполнения погрузочно-транспортных работ зависят технико-экономические показатели открытых горных работ (ОГР) в целом, поскольку транспортные затраты в настоящее время составляют свыше 50% общих затрат на добычу полезного ископаемого. Стремление увеличивать единичную мощность карьерных самосвалов и экскаваторов, характерное для современного этапа развития карьерных ЭАК, не сопровождается, однако, соответствующим ростом их производительности и показателей использования. Это приводит лишь к количественному росту экскаваторного и автотранспортного парков без существенного улучшения качества их работы. Связано это в основном с недостаточным учётом влияния совместной работы экскаваторов и самосвалов на эффективность ЭАК.

Известно, что мощным средством повышения эффективности и качества технических объектов является оптимизация их работы. В связи с этим задача оптимизации параметров ЭАК разрезов для повышения качества их функционирования и создания на этой основе погрузочно-транспортных комплексов нового поколения представляется актуальной научно-практической задачей.

Степень разработанности. Существенный вклад в развитие теории и практики использования ЭАК на ОГР внесли К.Н. Трубецкой, А.А. Кулешов, М.Г. Потапов, А.Ю. Захаров, И.В. Зырянов, Ю.И. Лель, А.П. Комиссаров, А.А. Хорешок, О.Н. Вуейкова, С.Н. Зарипова, Ц. Нанзад, С. Burt, S. Alarie и др. Они в своих работах обобщили опыт эксплуатации ЭАК, определили область рационального использования их на ОГР, отразили вопросы технико-экономического анализа эффективности применения данных комплексов на карьерах. Однако несогласованность совместной работы экскаваторов и самосвалов в составе ЭАК оставляет качество функционирования ЭАК на невысоком уровне. Связано это с недостаточной разработанностью теории оптимального проектирования горных комплексов.

Цель работы – обоснование и определение оптимальных параметров ЭАК разрезов УК «Кузбассразрезуголь».

Идея работы заключается в использовании для оптимизации работы ЭАК разрезов критериев качества.

Объект исследования – экскаваторно-автомобильные комплексы разрезов УК «Кузбассразрезуголь».

Предмет исследования – совместная работа экскаваторных и автотранспортных парков в составе ЭАК разреза.

Поставленная цель определяет следующие основные **задачи** работы.

1. Разработать методику и провести сравнительную интегральную оценку качества работы ЭАК на разрезах УК «Кузбассразрезуголь».
2. Разработать на основе системного подхода и методов интегральной оценки методику оптимизации параметров ЭАК.
3. Провести оптимизацию параметров совместной работы карьерных экскаваторов и автосамосвалов и разработать методику формирования на их основе оптимальных парков техники ЭАК.

Методология и методы исследований. В работе использовались как общенаучные, так и специальные методы исследований: научное обобщение, методы интегральной оценки качества, оптимизационное моделирование и линейное программирование. Для установления зависимостей оптимизационной математической модели использованы методы статистической обработки данных, анализа и синтеза.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Критерии оценки качества и оптимизации совместной работы экскаваторного и автотранспортного парков в составе ЭАК разреза определяются соотношением интенсивностей поступления карьерных самосвалов под погрузку и обслуживания их экскаваторами.
2. Оптимальный уровень качества работы ЭАК разрезов АО «УК «Кузбассразрезуголь» обеспечивается достижением значений параметров в следующих пределах: количество самосвалов на один экскаватор – $4,9 \div 6,3$; время загрузки

самосвала экскаватором – $3,2 \div 3,9$ мин; продолжительность рейса самосвала – $17,6 \div 28,8$ мин. Это позволяет сократить численность экскаваторного и авто-транспортного парков (или увеличить производительность) ЭАК, на 9%.

Достоверность научных результатов подтверждается выбором представительных критериев, характеризующих качество работы ЭАК, достаточным объёмом аналитических исследований, выполненных с применением апробированных методов статистического и системного анализа.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

- предложен новый критерий оценки качества совместной работы экскаваторов и самосвалов в составе ЭАК разреза;
- установлены диапазоны оптимальных значений параметров ЭАК, достижение которых обеспечивает оптимальный уровень качества работы действующих и вновь проектируемых ЭАК;
- предложен метод формирования оптимальных парков погрузочно-транспортной техники, базирующийся на системном рассмотрении функционирования ЭАК в целом и взаимодействия парков техники внутри ЭАК.

Личный вклад автора заключается: в определении цели, постановке задач исследования и разработке методов их решения; в разработке методик интегральной оценки качества и оптимизации параметров ЭАК разрезов. В рамках отдельных разделов диссертации личный вклад автора состоит в установлении закономерностей формирования и разработке регрессионных моделей оптимизационной модели функционирования ЭАК.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в разработке нового подхода к оптимизации параметров и формированию оптимальных парков погрузочно-транспортной техники ЭАК разрезов по критерию качества и созданию комплекса методик для их реализации. Разработанный аппарат оптимизации позволяет за счёт оптимального согласования параметров расширить функциональные и эксплуатационные возможности ЭАК.

Научно-практические рекомендации по оценке качества, оптимальному проектированию и совершенствованию ЭАК могут быть использованы научно-

исследовательскими, проектными и эксплуатирующими организациями как механизм выбора из предлагаемой техники перспективных моделей, создания карьерных погрузочно-транспортных комплексов нового поколения с возможностью адаптации их к конкретным условиям эксплуатации.

Научные положения, разработанные в диссертации, могут быть использованы для оптимизации не только карьерных ЭАК, но и комплексов другого технологического назначения.

Реализация результатов работы. Основные научные результаты работы внедрены в проектной новационной фирме «КУЗБАСС-НИИОГР», эксплуатирующей организации (АО «УК «Кузбассразрезуголь»). К их числу относятся методические материалы по оценке качества и установлению оптимальных параметров ЭАК разрезов, рекомендации по совершенствованию ЭАК.

Апробация работы. Работа и её отдельные части докладывались и получили одобрение на III Международной научно-практической конференции «Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте» (г. Кемерово, 2019 г.), на XI Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных «Россия молодая» (г. Кемерово, 2020 г.), на 4-м, 5-м и 6-м Международных инновационных горных симпозиумах (г. Кемерово, 2019, 2020, 2021 гг.), на VII Международной научно-практической конференции «Перспективы инновационного развития угольных регионов России» (г. Прокопьевск, 2020 г.), на XXIX Международном научном симпозиуме «Неделя горняка-2021» (г. Москва, 2021 г.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 13 научных работ, в том числе 6 работ – в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ, 3 работы в изданиях, индексируемых в международных базах.

Структура и объём работы. Диссертационная работа изложена на 171 странице машинописного текста, состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы из 117 наименований, содержит 16 рисунков, 37 таблиц и 2 приложения.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

1.1 Характеристика экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов УК «Кузбассразрезуголь»

В настоящее время Кузбасс, наряду с другими восточными регионами России, является одним из главных поставщиков каменного угля [1].

Горно-геологические условия месторождений угля на востоке страны [2, 3], а также меньшие затраты на разработку, благоприятствуют развитию открытого способа добычи угля, доля которого сегодня в России достигает 74%, и эта тенденция обещает сохраниться в будущем [1]. Преобладание открытого способа обусловлено такими его преимуществами перед подземным способом, как более высокая производительность труда (по угольным предприятиям в 10-11 раз), более низкая (в 3-4 раза) себестоимость добываемого угля [4].

Основные объёмы открытой добычи угля в Кузбассе отрабатываются АО «Угольная компания «Кузбассразрезуголь». УК «Кузбассразрезуголь» представляет собой специализированный производственно-технологический комплекс, включающий 25 предприятий различного назначения. В составе Компании действуют 6 крупных разрезов, объединяющих в себе 12 предприятий открытой угледобычи. Ими отрабатываются запасы угля 17 месторождений [5].

Основным видом транспорта для перевозки вскрышных пород и угля на разрезах Кузбасса является автомобильный транспорт. Доля перевозок вскрышных пород автотранспортом варьируется от 16% («Моховский угольный разрез») до 100% («Калтанский угольный разрез»). Уголь на всех разрезах перевозится исключительно автомобильным транспортом [5]. Таким образом, вскрышные и добычные работы на разрезах Кузбасса выполняются преимущественно экскаваторно-автомобильными комплексами (ЭАК) различной единичной мощности.

Характеристика ЭАК разрезов АО «УК Кузбассразрезуголь», занятых на вскрышных работах в 2018 г., приведена в таблице 1.1.

Добычные и смешанные ЭАК в данной работе не рассматриваются.

Таблица 1.1 – Характеристика ЭАК разрезов АО «УК «Кузбассразрезуголь»

Кедровский угольный разрез					
Экскаваторы	Карьерные самосвалы				
	БелАЗ-75131 (3 ед.)		БелАЗ-75306 (29 ед.)		
ЭКГ-10	5				
ЭКГ-12, ЭКГ-12,5 (14 м³)	2				
R994 (13 м³)	1				
ЭКГ-15	3				
ЭКГ-18	1				
P&H-2800 (33 м³)			2		
Моховский угольный разрез					
Экскаваторы	Карьерные самосвалы				
	БелАЗ-75131 (32 ед.)				
ЭКГ-10	4				
ЭКГ-12	1				
R994 (13 м³)	2				
ЭКГ-18	1				
Бачатский угольный разрез					
Экскаваторы	Карьерные самосвалы				
	БелАЗ-75131 (1 ед.)	БелАЗ-75302 (22 ед.)	БелАЗ-75306 (38 ед.)	БелАЗ-75600 (10 ед.)	БелАЗ-75603 (1 ед.)
ЭКГ-10	2				
ЭКГ-12, ЭКГ-12,5	2				

Продолжение таблицы 1.1

ЭКГ-15	6			
ЭКГ-18М	1			
P&H-2800 (33 м ³)		2		
WK-35 (35 м ³)		2		
P&H-4100 (56 м ³)				1
Краснобродский угольный разрез				
Экскаваторы	Карьерные самосвалы			
	БелАЗ-75131 (23 ед.)	БелАЗ-75137 (2 ед.)	БелАЗ-75302 (15 ед.)	БелАЗ-75306 (52 ед.)
ЭКГ-10	5			
ЭКГ-12, ЭКГ-12,5	6			
ЭКГ-15	1			
RH120 (16 м ³)	2			
ЭКГ-18, ЭКГ-18Р			2	
RH170 (20 м ³)			1	
WK-20 (20 м ³)			1	
RH200 (26 м ³)			1	
РС 5500 (28 м ³)			1	
ЭКГ-32Р			1	
ЭКГ-35			1	
P&H-2800 (33 м ³)			1	
WK-35 (35 м ³)			1	

Окончание таблицы 1.1

Талдинский угольный разрез						
Экскаваторы	Карьерные самосвалы					
	БелАЗ-75131 (33 ед.)	БелАЗ-75137 (1 ед.)	БелАЗ-75302 (13 ед.)	БелАЗ-75306 (62 ед.)	БелАЗ-75600 (9 ед.)	БелАЗ-75603 (1 ед.)
ЭКГ-10	7					
САТ-5130 (11 м³)	1					
ЭКГ-12, ЭКГ-12,5	3					
R994 (13 м³)	2					
ЭКГ-15	4					
ЭКГ-18Р, ЭКГ-1500Р			4			
R9350 (18 м³)			4			
EX3600-6 (22 м³)			1			
P&H-2800 (33 м³)			1			
WK-35 (35 м³)			2			
P&H-4100 (56 м³)					1	
Калтанский угольный разрез						
Экскаваторы	Карьерные самосвалы					
	БелАЗ-75131 (21 ед.)	БелАЗ-75137 (6 ед.)	БелАЗ-75306 (11 ед.)			
ЭКГ-10	8					
RH90C (10 м³)	1					
ЭКГ-12, ЭКГ-12,5	1					
R994 (13 м³)	1					
ЭКГ-15	1					
ЭКГ-18				1		

На разрезах АО «УК «Кузбассразрезуголь» в составе ЭАК используются также шагающие экскаваторы (ЭШ), однако не везде и в гораздо меньших количествах, чем наиболее распространённые карьерные, поэтому они в таблице 1.1 не приводятся. Экскаваторы ЭШ, которые работали в рассматриваемое время на некоторых разрезах, представлены в таблицах 2.1 и 2.2.

Поскольку экскаваторные и автотранспортные парки ЭАК разрезов различаются довольно значительно по величине вместимости ковша экскаватора и кузова самосвала, на разрезах по возможности стараются выдерживать рациональное соотношение между ними, а значит, совместно работают, как правило, вполне определённые модели экскаваторов и самосвалов. Так, экскаваторы с вместимостью ковша от 10 до 13 м³ на всех разрезах работают только с самосвалами серии БелАЗ-7513 (130 тонн); экскаваторы с вместимостью ковша 15–16 м³ работают с самосвалами серий БелАЗ-7513 и БелАЗ-7530 (200–220 тонн). Только с самосвалами серии БелАЗ-7530 работают экскаваторы с вместимостью ковша от 18 до 35 м³. Самые мощные экскаваторы Р&Н-4100 (56 м³) работают только с самосвалами серии БелАЗ-7560. Анализ ЭАК разрезов УК «Кузбассразрезуголь» приведен в работе автора [6].

Численность и типоразмерный состав экскаваторного и автотранспортного парков ЭАК во многом определяют эффективность погрузочно-транспортного процесса и рациональность показателей ОГР в целом. Если качественный и количественный состав работающих одновременно автотранспортных и экскаваторных парков не сбалансированы, однозначно будут иметь место простои и снижение производительности ЭАК. Избыток карьерных самосвалов приводит к их простоям у экскаваторов в ожидании погрузки; недостаток – к простоям экскаваторов в ожидании самосвалов. Однако даже количественная сбалансированность парков в ЭАК ещё не гарантирует отсутствия простоев, поскольку нерациональным может быть распределение самосвалов между экскаваторами, а также возможность работы с экскаваторами разных или не соответствующих данному экскаватору типоразмеров самосвалов. Это сопровождается потерями рабочего времени техники, снижением производительности ЭАК и, как итог, невозможностью

выполнения сменной выработки. Это заставляет иметь в составе парков «лишние» машины, что сопряжено с дополнительными капитальными затратами. Проблема достижения сбалансированности работы экскаваторных и автотранспортных парков ЭАК существует и решается постоянно – и при проектировании разреза, и при его функционировании. Решение этой проблемы видится в оптимизации режимных и технико-эксплуатационных показателей (ТЭП) работы ЭАК [7].

Известно, что затраты на транспорт составляют на большинстве карьеров не менее половины общих затрат. Для сокращения транспортных расходов используют разные способы: применяют более производительные и надёжные машины в составе ЭАК; стремятся соблюдать рациональные соотношения вместимостей кузовов карьерных самосвалов и ковшей экскаваторов; используют циклично-поточную технологию, когда самосвалы работают только внутри карьера без подъёма на поверхность, а горная масса выдаётся на поверхность и перемещается в отвал мощными конвейерными комплексами; разрабатывают «беспилотные» карьерные самосвалы, что позволяет сэкономить на водителях и исключить человеческий фактор из транспортного процесса [8].

Однако даже применение традиционных подходов к организации погрузочно-транспортного процесса может дать положительный результат при условии более эффективного использования и самосвалов, и экскаваторов в составе ЭАК.

К сожалению, и уже имеющиеся достижения в области организации и управления горным производством в отечественной практике не реализуются. В результате экскаваторы на большинстве карьеров используются не более чем на 50–60% [9, 10].

Простои технологического автотранспорта в УК «Кузбассразрезуголь», классифицированы следующим образом.

Плановые простои – это простои, величина которых определена регламентирующими документами (например, [11]). Они пересматриваются только при изменении условий эксплуатации. *Неплановые* простои – простои исправных машин в течение смены. Эти машины могут работать и выполнять сменное задание, однако по не зависящим от водителя причинам простаивают [12].

Очевидно, что от всех простоев в реальных условиях избавиться невозможно, но даже при частичном их сокращении выявляются скрытые резервы повышения производительности и сменной выработки ЭАК [7].

ЭАК производительны лишь тогда, когда экскаваторы загружают горную массу в самосвалы, а самосвалы транспортируют её к месту разгрузки. Простои отражают непроизводительное использование техники [7]. Оптимизируя совместную работу экскаваторных и автотранспортных парков, можно добиться либо увеличения производительности ЭАК с имеющимися парками техники, либо желаемой производительности с меньшей их численностью. Эта цель достигается путём оптимизации и показателей использования техники.

В связи с этим главной задачей настоящих исследований должно стать установление оптимальной совместной работы экскаваторных и автотранспортных парков ЭАК разрезов, за счёт чего и достигается повышение их производительного использования и качества работы ЭАК в целом.

1.2 Анализ состояния и перспективы развития техники карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов

Расширение использования мощных карьерных ЭАК связано с бурным развитием мировой горной промышленности в 90-е годы XX века.

На крупнейших карьерах мира используются электрические экскаваторы-мехлопаты ведущих зарубежных фирм с вместимостью ковша 40–64 м³, которые выполняют загрузку автосамосвалов грузоподъёмностью 290–360 тонн. В производственных программах ведущих экскаваторостроительных компаний P&H Mining Equipment и Bucyrus основную долю (более 75%) занимают механические лопаты с ковшами вместимостью 45–64 м³ [13].

С 1990-х годов растёт спрос на гидравлические экскаваторы. Осваиваются типоразмеры с вместимостью ковша 30–43 м³. В 2000-х годах выпуск гидравлических экскаваторов для ОГР вырос в 3–5 раз [13]. В настоящее время карьерные гидравлические одноковшовые экскаваторы производятся фирмами Hitachi,

Komatsu, Terex, Liebherr, Caterpillar [14]. С 2005 года гидравлические экскаваторы с ковшами вместимостью 15–27 м³ фирм Hitachi (EX-3600 – 22 м³; EX-5500 – 27 м³), Komatsu (PC-3000 – 15 м³; PC-4000 – 19 м³), Terex (RH-170 – 14,5 м³) стали применяться в России [13].

Первый серийный отечественный гидравлический карьерный экскаватор ЭГ-110 был выпущен ОАО «Объединённые машиностроительные заводы» (ОМЗ) только в 2006 году [15, 16]. Сегодня около 90% российских тяжелых карьерных экскаваторов и драглайнов производится двумя российскими заводами: ООО «ИЗКАРТЕКС имени П.Г. Коробкова» и ПАО «УралМашЗавод»; компания ОМЗ в настоящее время как самостоятельная единица не существует [17, 18].

Компания Terex Mining (O&K) производит карьерные экскаваторы семи классов с вместимостью ковша от 5 до 50 м³; фирма Liebherr – шести типоразмеров карьерных гусеничных экскаваторов с рабочим оборудованием «прямая лопата» с вместимостью ковшей от 4,4 до 34 м³; компания Komatsu производит для ОГР гусеничные карьерные экскаваторы с ковшами вместимостью: «прямая лопата» от 4,5 до 48 м³, «обратная лопата» – от 2,8 до 48 м³. Лидером в производстве карьерных одноковшовых экскаваторов является фирма Caterpillar (США). Более высокая цена экскаваторов САТ вполне окупается за счёт большей производительности машины [19].

Все данные по экскаваторам фирм Hitachi, Terex, Liebherr, Komatsu приведены по работе [14].

На разрезах УК «Кузбассразрезуголь» (таблица 1.1) на вскрышных работах используются экскаваторы и отечественного и зарубежного производства [6].

Отечественные экскаваторы классов ЭКГ-10 (всего 31 единица), ЭКГ-12 (15 единиц) и ЭКГ-18 (10 единиц) используются на всех разрезах; класса ЭКГ-15 (15 единиц) – на всех разрезах, за исключением разреза «Моховский»; классов ЭКГ-32 (1 единица) и ЭКГ-35 (1 единица) – на разрезе «Краснобродский». Всего – 73 машины.

Широко применяются и экскаваторы зарубежного производства: Liebherr R994 (13 м³, 6 единиц) – на всех разрезах за исключением разрезов «Бачатский» и

«Краснобродский»; Liebherr R9350 (18 м³, 4 единицы) – на разрезе «Талдинский»; Terex RH90C (10 м³, 1 единица) – на разрезе «Калтанский»; Terex RH120 (16 м³, 2 единицы), Terex RH170 (20 м³, 1 единица), Terex RH200 (26 м³, 1 единица) – на разрезе «Краснобродский»; CAT-5130 (11 м³, 1 единица) – на разрезе «Талдинский»; Hitachi EX3600-6 (22 м³, 1 единица) – на разрезе «Талдинский»; Komatsu PC 5500 (28 м³, 1 единица), WK-20 (20 м³, 1 единица) фирмы «Тайюаньский завод тяжёлого машиностроения» (КНР) – на разрезе «Краснобродский»; P&H-2800 (33 м³, 6 единиц) – на всех разрезах, кроме разрезов «Моховский» и «Калтанский»; P&H-4100 (56 м³, 2 единицы) – на разрезах «Бачатский» и «Талдинский»; WK-35 (35 м³, 5 единиц) – на разрезах «Бачатский», «Краснобродский» и «Талдинский». Всего – 32 машины.

Одной из крупнейших в мире фирм, выпускающих карьерные автосамосвалы, является Открытое акционерное общество «Белорусский автомобильный завод» (ОАО «БелАЗ»). ОАО «БелАЗ» выпускает карьерные самосвалы грузоподъёмностью от 30 до 360 тонн, а также в стадии испытаний находится самосвал серии БелАЗ-7570 грузоподъёмностью 450 тонн.

На разрезах УК «Кузбассразрезуголь» (таблица 1.1) на вскрышных работах используются в основном самосвалы БелАЗ следующих типоразмеров: самосвалы класса грузоподъёмности 130 тонн (БелАЗ-75131, БелАЗ-75137) используются на всех разрезах (122 машины); класса 200–220 тонн (БелАЗ-75302, БелАЗ-75306) – на всех разрезах, за исключением разреза «Моховский» (242 машины); классов 320 тонн (БелАЗ-75600) и 360 тонн (БелАЗ-75603) – на разрезах «Бачатский» и «Талдинский» (всего 19 машин БелАЗ-75600 и 2 машины БелАЗ-75603).

Самосвалы серии БелАЗ-7513 грузоподъёмностью 130 тонн развивались в следующих направлениях: они оснащались всё более мощными двигателями, уменьшалась габаритная ширина, улучшалась трансмиссия и другие агрегаты и системы в направлении увеличения надёжности и эксплуатационного ресурса. Их численность на разрезах УК «Кузбассразрезуголь» составляет 122 машины, причём на разрезе «Моховский» это единственная модель карьерных самосвалов.

Увеличение объёмов производства на предприятиях открытой угледобычи потребовало создания более производительных автотранспортных средств. Поэтому с 1997 г. завод серийно выпускает самосвалы серии БелАЗ-7530 грузоподъёмностью 200–220 тонн. Установка двигателей фирмы «Cummins», характеризующихся высокой надёжностью и ресурсом, и уменьшение базы позволило получить качественную модификацию – БелАЗ-75306 грузоподъёмностью 220 т, которая выпускается и сейчас. Самосвалы этой серии являются преобладающими на разрезах Кузбасса. Их численность в УК «Кузбассразрезуголь» в рассматриваемый период составляет 242 машины.

Первый автосамосвал серии БелАЗ-75600 особо большой грузоподъёмности 320 т в 2006 году введён в эксплуатацию на разрезе «Бачатский» [20, 21]. Сейчас на разрезах «Бачатский» и «Талдинский» эксплуатируются 19 таких машин. На этих же разрезах работают 2 самосвала БелАЗ-75603 грузоподъёмностью 360 т.

Зарубежный карьерный автотранспорт на вскрышных работах разрезов УК «Кузбассразрезуголь» распространения не получил [6].

Основной тенденцией развития техники ЭАК является повышение единичной мощности экскаваторов и самосвалов. Однако это не сопровождается ростом производительности ЭАК и улучшением показателей их использования. Это подтверждается приведёнными на рисунках 1.1 и 1.2 диаграммами выполнения плановых заданий грузооборота и объёмов погрузки и перевозок самосвалами БелАЗ-75131 (130 тонн), БелАЗ-75306 (220 тонн), БелАЗ-75600 (320 тонн) и БелАЗ-75603 (360 тонн), применяемых на вскрышных работах в УК «Кузбассразрезуголь» в 2018 году [6].

1.3 Проблемы оценки качества работы и проектирования карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов

Существующие методы оценки эффективности и качества даже отдельных функциональных машин, составляющих ЭАК, не являются совершенными [22]. Задача эта достаточно сложная и трудоёмкая, поскольку по объёму проводимых исследований оценка качества машин, а тем более их комплексов, во многих

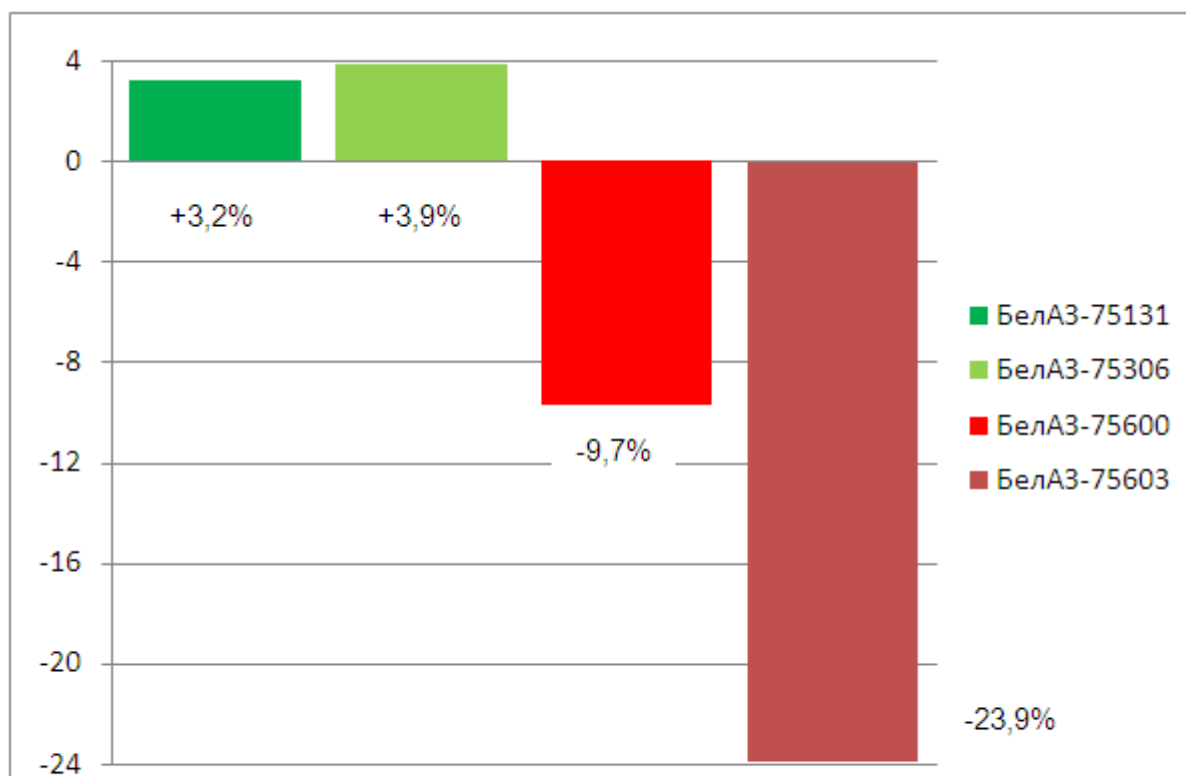


Рисунок 1.1 – Диаграммы выполнения плана грузооборота самосвалами различных типоразмеров

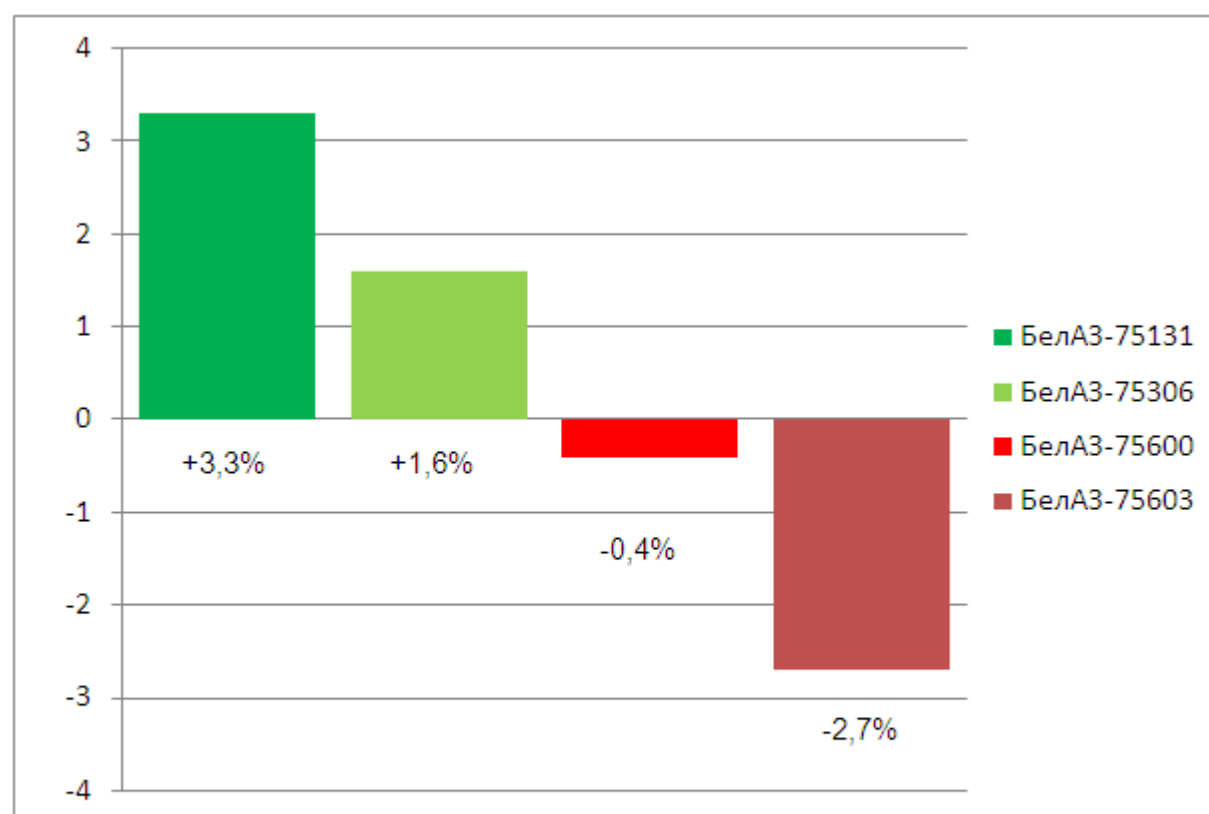


Рисунок 1.2 – Диаграммы выполнения плана объёмов погрузки и перевозок самосвалами различных типоразмеров

случаях может значительно превышать затраты труда на проектирование машин и комплексов [23].

Основным документом на одноковшовые экскаваторы с ковшом вместимостью 4 м³ и более, и карьерные автосамосвалы являются ГОСТ Р 55165–2012 [24] и ГОСТ 30537–97 [25] (в настоящее время в России утратил силу) соответственно. Оценка качества проектируемых и производимых машин осуществляется по ГОСТ Р ИСО 9001–2008 [26].

В соответствии с рекомендациями в указанных ГОСТах приводится «Номенклатура основных параметров – показателей технического уровня и качества и их применимость», которая рассматривает использование в качестве показателей качества одноковшовых экскаваторов и карьерных самосвалов в различной научно-технической документации: техническом задании, технических условиях и карте технического уровня и качества [27].

Не рассматривая подробно показатели технического уровня и качества экскаваторов и самосвалов, можно отметить следующее.

Некоторые показатели (параметры) либо определяют размерную группу машины (вместимость ковша экскаватора, грузоподъёмность самосвала), либо малозначимы (среднее давление на грунт, скорость передвижения для экскаваторов), либо дублируют друг друга (размеры выгрузки и размеры копания экскаватора, вместимость кузова и грузоподъёмность самосвала), либо это показатели разного иерархического уровня, характеризующие экскаватор или самосвал в целом и их отдельные агрегаты. Одновременно с этим в номенклатуру не включены некоторые важные показатели, характеризующие качество экскаваторов (усилие копания, удельные энергоёмкость и материалоемкость) и самосвалов (масса, габаритные размеры, минимальный радиус поворота, максимальная скорость движения, запас хода по топливу, удельная мощность и удельная масса). Всё это свидетельствует об отсутствии системности в подходах к решению этих вопросов.

Анализ исследований, посвященных решению задачи установления комплекса показателей, характеризующих технический уровень и качество экскаваторов и самосвалов, показывает отсутствие единства. Для определения и оптими-

зации параметров и показателей работы этих машин существует множество подходов и методик [28-33].

Однако проблема неизмеримо усложняется при попытках оценить качество работы ЭАК – комплекса машин, поскольку работа ЭАК предполагает дополнительно взаимодействие составляющих комплекс экскаваторов и самосвалов. Методик или хотя бы рекомендаций по оценке качества комплексов машин и их проектированию сегодня крайне мало, или они очень несовершенны.

Попытка разработать модели описания работы не отдельных машин, а системы «экскаватор – автомобиль» с экскаватором в качестве ведущего звена принята в работе О.Г. Алпеевой [34]. Целью являлось планирование работы систем в составе одного экскаватора и одного или нескольких автотранспортных средств, в строительстве. В ней рассмотрены модели взаимодействия машин в технологическом процессе в указанных сочетаниях, однако не рассмотрены ЭАК, состоящие из нескольких типоразмеров экскаваторов и соответствующего количества самосвалов разных марок и моделей, которые повсеместно используются для выполнения погрузочно-транспортных работ в карьерах. Кроме того, цель работы не предполагала всеобъемлющего рассмотрения процесса работы комплекса в рамках предприятия в целом. Всё это вместе взятое не позволяет с помощью предложенной методики оценить качество работы ЭАК разрезов.

В работах С.Н. Зариновой [35, 36] произведено моделирование взаимодействия карьерных экскаваторов и автосамосвалов, но лишь с точки зрения требований безопасности труда. В работе А.Б. Исайченкова [37] в качестве критерия оптимизации ЭАК предлагается средневзвешенный размер кусков взорванной горной массы, что позволяет, по мнению автора, определить оптимальные параметры каждого из сопряжённо-выполняемых технологических процессов, затраты по ним, а также суммарные издержки по технологии в целом. Однако, всё это лишь частные случаи оценки работы ЭАК, выполненные для вполне определённых частных целей.

Эффективность работы карьерного автотранспорта в ЭАК зависит от численности и структуры парков техники (экскаваторов и самосвалов), а также рас-

стояния перевозок. В работах [38–52] изучалась проблема определения оптимальной численности парков оборудования, чтобы избежать недогруженности или перегруженности ЭАК самосвалами. Задаче формирования рациональной структуры парка самосвалов посвящены также работы [45–57]. Работ, посвящённых рассмотрению качества работы ЭАК как комплекса сопряжённых в технологическом процессе машин в составе единой системы разреза, не обнаружено.

Таким образом, анализ показывает, что в вопросах установления показателей качества работы ЭАК, а также отдельных функциональных машин, составляющих комплекс, и его оценки, отсутствует системность. Отсутствие единых подходов порождает эмпиризм при проектировании и оценке качества, и, как итог, ошибки и ощутимые потери времени и средств.

ВЫВОДЫ

1. Погрузочно-транспортные работы на разрезах УК «Кузбассразрезуголь» выполняются преимущественно ЭАК большой единичной мощности. Однако уровень качества их работы остаётся недостаточным из-за высокого уровня простоев экскаваторов и самосвалов и низкого уровня организации их совместной работы. От этого зависят технико-экономические показатели добычи в целом, поскольку затраты на погрузочно-транспортные работы составляют сегодня свыше половины общекарьерных затрат.

2. Стремление увеличивать единичную мощность погрузочно-транспортной техники ЭАК разрезов не сопровождается соответствующим увеличением производительности ЭАК и улучшением показателей использования, что приводит лишь к количественному росту экскаваторного и автотранспортного парков без существенного улучшения качества их работы.

3. Для создания ЭАК разрезов высокого качества необходимо исходить из системного подхода к ЭАК как сложному техническому комплексу в составе общей горнотранспортной системы ОГР.

2 ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ РАЗРЕЗОВ

2.1 Анализ существующих методик оценки качества машин и комплексов

Оценка качества объектов в настоящее время осуществляется с использованием комплексных методов, которые, наряду с оценкой качества объекта по отдельным свойствам, предполагают и оценку качества объекта в целом по интегральному (комплексному) показателю.

Количественное определение комплексного показателя качества требует установления его единичных показателей путём сравнения с базовыми образцами. Суммирование единичных показателей с учётом их весомости даёт комплексный показатель качества.

Большая часть методик интегральной оценки качества предусматривает выполнение всех этих операций, различаясь только подходами к выбору базового образца (эталона), установлению зависимости между отдельными свойствами и их оценками, определению весомости этих свойств и способу суммирования единичных показателей качества в комплексную оценку.

В работе [33] предлагается расширенный вариант интегральной оценки качества. Предлагается качество оценивать наряду с приведёнными выше единичными показателями (для характеристики частного качества), и интегральными, оценивающими все характерные свойства объектов, дополнительно доминирующими показателями по различным группам свойств, а также обобщёнными, объединяющими в себе доминирующие показатели по группам. Нетрудно заметить, что и в данной методике просматриваются всё те же характерные для классической интегральной оценки качества группы показателей: единичные и комплексные, тем или иным способом объединяющие эти единичные показатели в единую, целостную оценку. Дополнительное выделение групп доминирующих показателей сути дела не меняют.

Под оценкой качества понимается степень приближения фактических значений показателей качества к желаемым (эталонным), которыми обладает базо-

вый объект [58]. Правильно выбрать эталон – одна из сложнейших задач оценки качества.

В некоторых методиках в качестве эталонов рекомендуется использовать реально существующие образцы; в других – некие фиктивные (условные) эталоны. Недостатками реальных эталонов является то, что оценка в данном случае осуществляется в сравнении с хотя и отражающим на сегодняшний день мировой уровень качества, но всё же данным конкретным объектом, а значит, по мере совершенствования объекта оценка рано или поздно устаревает. Использование устаревших и несовершенных эталонов приводит к искажённой, необоснованно завышенной, оценке качества. В то же время не рекомендуется применять в качестве эталонов и некие гипотетические образцы, значения показателей которых ещё не достигнуты в реальности, а значит, во многом являются произвольными [59]. Поэтому, как справедливо указывается авторами работы [58], в качестве эталона целесообразно принимать некую систему показателей, в которую включаются все их наилучшие значения, но уже реально достигнутые в продукции данного типа, даже если это разные объекты. Такой подход позволяет изменять эталоны по мере улучшения качества продукции, а значит, более объективно оценивать качество продукции, выявлять перспективные направления его повышения. Именно такая динамичная модель фиктивной эталонной системы предложена Г.И. Солодом для оценки качества горных машин.

Следующей проблемой оценки качества является установление зависимости между отдельными свойствами и их оценками. Оценки отдельных свойств продукции q_{ij} представляют собой некоторую зависимость их от соотношения соответствующего показателя оцениваемой продукции P_{ij} и базового показателя P_{6j} , то есть

$$q_{ij} = f(P_{ij}, P_{6j}).$$

Это могут быть наиболее простые, линейные зависимости между оценкой свойства и его показателем:

$$q_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_{6j}} \text{ (или } \frac{P_{6j}}{P_{ij}}), \quad (2.1)$$

или нелинейные зависимости вида

$$q_{ij} = \frac{P_{ij} - P_{\text{пр.}j}}{P_{6j} - P_{\text{пр.}j}},$$

которые используются, когда в значениях единичных показателей качества имеются ограничения по величине $P_{\text{пр.}j}$.

В ряде методик, главным образом зарубежных, предлагаются ещё более явно выраженные нелинейные функции. И хотя эти зависимости позволяют, по мнению авторов, получить более точные и достоверные оценки, они требуют гораздо большего объёма исследовательской работы, не оправдывающего выигрыша от достижения повышенной точности и достоверности.

Модель интегральной оценки характеризует связь между отдельными свойствами объектов и даёт метод объединения их оценок в комплексную оценку. В существующих методиках для сведения оценок единичных показателей q_{ij} воедино используются различные виды суммирования, из которых в последнее время всё большее распространение получает среднеквадратичное суммирование. Оно объединяет достоинства других способов получения средних [58, 60, 61].

Однако наибольшие затруднения во всех методиках интегральной оценки качества вызывает вопрос определения весомостей отдельных свойств в их общей совокупности. Ряд специалистов вообще предлагают не учитывать весомость отдельных свойств, поскольку, по их мнению, свойства одного иерархического уровня равнозначны. Такой подход представляется спорным, поэтому в большинстве методик весомость свойств тем или иным способом всё-таки учитывается. Существует большое количество стоимостных, вероятностных и экспертных способов определения весомости, в той или иной степени удовлетворительных для конкретных случаев. Детальный анализ их проведён в работах [62, 63]. Отмечается, что экспертные способы отличаются наглядностью и привычностью, однако они сложны, многоэтапны и затратны, и всё-таки не исключают субъективности. Стоимостные способы, в которых весомость является функцией затрат, из-за неупорядоченности и во многом условности цен на товары и услуги приводят к существенным ошибкам [33].

Поэтому в последнее время в работах прослеживается тенденция поиска и обоснования безэкспертных методов определения весомости, которые позволили бы, с одной стороны, избежать необъективности, присущей экспертным методам, а с другой – весомость всё же учесть.

В частности, в работах А.Н. Даниярова [64–66] предлагается определять коэффициенты весомости по формуле: $m_k = m_1 \cdot e^{-(1-\alpha)(k-1)}$, где k – число принятых к рассмотрению параметров машин; α – доля каждого последующего из предварительно ранжированных по значимости параметров от предыдущего. При этом весомость первого по значимости единичного показателя m_1 определяется экспертным способом. А это значит, что остаётся возможность проявления необъективности при ранжировании показателей, и экспертный способ всё же не исключается.

В работе Г.М. Семенова [67] предлагается графический метод определения научно-технического уровня. Он отличается наглядностью, удобством, однако целиком базируется на экспертном методе определения весомости и обладает недостаточной достоверностью, поскольку предлагается некая усреднённая оценка. Поэтому в работах [62, 68] справедливо рекомендуется использовать его лишь как вспомогательный.

При использовании метода «изобретательской активности» коэффициенты весомости определяют по скорости роста числа охранных документов на изобретения. Чем больше изобретений создаётся с целью улучшения показателя, тем весомее этот показатель [69]. Метод требует необходимости проведения большого объёма патентных исследований; кроме того, изобретения часто улучшают не отдельные свойства изделия, а целый комплекс свойств, поэтому разделить их бывает достаточно сложно; и, наконец, не все объекты оценки качества патентоспособны (например, оценки качества работы не отдельных машин, а их комплексов).

Интересная, всеобъемлющая, методика оценки технического уровня и качества любых транспортных средств, предложена В.Д. Бурдаковым в работе [31]. Автор выделил из всей совокупности типичную для всех видов транспортных средств доминирующую группу оценочных параметров.

Технический уровень транспортного средства описывается как некоторая математическая функция критерия T от влияющих параметров. Этот критерий выражает количественную оценку технического уровня машины. Он имеет вид:

$$T = A \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$$

где $A = Q\vartheta_p^2 L$ является количественной оценкой полезного эффекта транспортной операции; $K_1 = Q/G$ – коэффициент, отражающий весовое совершенство данного транспортного средства; $K_2 = L\sqrt{H/V}$ – коэффициент, характеризующий дорожно-трассовые свойства транспортного средства; показатель $K_3 = (\vartheta_{max}/\vartheta_p)^2$ учитывает запас кинетической энергии машины по максимальной скорости. В данных зависимостях: Q – максимальная коммерческая нагрузка, т; ϑ_p – рейсовая скорость движения, км/ч; L – дальность транспортирования груза, км; G – полная масса транспортного средства, т; H – уклон преодолеваемых подъёмов; V – габаритный объём машины, м³; ϑ_{max} – максимальная скорость движения, км/ч.

Затем отыскиваются квалиметрические уравнения связей параметров, строятся графики, на которые наносятся полученные значения критерия T и охватывающие их границы полей мирового рынка. Достигнутый уровень как процент от мирового и составляет технический уровень транспортного средства.

Недостатками данной и сопутствующих ей методик являются: большой объём работ; сложность получения статистической информации; невозможность сравнения машин по разному числу показателей; по мере развития техники происходит расширение границ полей мирового рынка, а это требует весьма трудоёмких перерасчётов; оценка осуществляется по усреднённым, а не по лучшим величинам соответствующих показателей. И, наконец, методика не позволяет оценивать качество комплексов взаимодействующих друг с другом машин, качество их совместной работы.

В уже упоминавшейся методике количественно-качественной оценки оборудования для безвзрывной технологии [33] предлагается выделять три уровня оценки технического изделия: эффективность, идентифицированное качество и конкурентоспособность. При этом оценка конкурентоспособности может произ-

водиться лишь в том случае, если достоверно оценено их идентифицированное качество. А последнее может быть установлено только тогда, когда известны все параметры и эксплуатационные свойства машин, их реальная стоимость, поэтому попытка точного определения их наталкивается на большие сложности, связанные с получением достоверных данных. Таким образом, сегодня разработка системы всесторонней оценки машин находится лишь в стадии становления, а значит, производить оценку можно только по её эффективности, причём только по натуральным (техническим) показателям. Это признают и сами авторы. Тем самым, методика пока не отличается от классических методик. Всеобъемлющая оценка качества пока недостижима, так как нет единых количественных мер качества [33].

И, наконец, во всех приведённых выше методиках есть один главный для нас недостаток: все они оценивают качество отдельных машин и их невозможно прямо применить для оценки качества комплекса машин, каковым является ЭАК, поскольку невозможно учесть взаимодействие машин в технологическом процессе работы ЭАК.

Вопросы разработки модели описания работы не отдельных машин, а системы «экскаваторы – автомобили», моделирования их взаимодействия, поиска критериев установления рациональной структуры и определения оптимальной численности парков техники рассмотрены в параграфе 1.3, где указаны их основные недостатки.

В настоящее время широкое признание получила методика безэкспертной оценки качества горных машин, разработанная в Московском горном институте под руководством проф. Г.И. Солода [58, 60, 61]. Она реализована в ряде нормативных документов промышленных предприятий [70], а также использована и во многих научно-исследовательских работах [62–82], в том числе и автора [83].

Методика, базируясь на основополагающих принципах квалиметрии, позволяет оценивать функционально однородные машины различных типоразмеров, типов и конструктивных исполнений с помощью функционального критерия, ко-

торый определяет основное назначение машины и позволяет количественно оценивать качество выполнения горной машиной своей функции.

Функциональный критерий машины λ представляется автором в виде произведения производительности горной машины в процессе выполнения ею своей функции в заданных условиях Π и удельной энергии этого процесса W . Сопоставляя данный функциональный критерий с другими комплексными показателями, предлагаемыми, например, в работах [84, 85], можно отметить универсальность критерия λ .

Методика Г.И. Солода исключает субъективность, особенно при интегральной оценке качества; допускает оценку по различному числу показателей для разных рассматриваемых машин; не ограничивает конструкторов при проектировании новых машин; обеспечивает возможность прогнозирования основных параметров для проектируемых машин; позволяет управлять качеством машины при проектировании, изготовлении, эксплуатации; обеспечивает оригинальную безэкспертную оценку весомости свойств машины [60]. Всё это выгодно отличает данную методику от других подобных методик.

Оценке технического уровня и качества карьерных экскаваторов и самосвалов, как отдельных функциональных машин, составляющих ЭАК, посвящено много работ. Применительно к карьерным самосвалам методика Г.И. Солода была использована в работах [71, 76, 77, 79, 80]; для одноковшовых экскаваторов – в работах [62, 76, 81, 82, 86]. Различия в вариантах методики в указанных работах состоят в разной интерпретации функционального критерия в зависимости от специфики решаемой задачи.

Попытка оценки качества ЭАК предпринята в работах Ц. Нанзада [87, 88] и М.И. Ахметовой [89]. Утверждается, что качество ЭАК определяется в первую очередь качеством машин, составляющих как отдельный комплекс, так и в целом погрузочно-транспортную систему карьера. Отмечается, что при совместной работе машин различного назначения появляется новое качество, обусловленное взаимодействием машин, горнотехнических, климатических и других условий, выраженным определёнными параметрами. Справедливо утверждается, что если

неправильно подобраны сопряжённые параметры для заданных условий эксплуатации, машины очень хорошего качества в отдельности в совокупности вполне могут дать комплекс низкого качества. В качестве критерия оптимизации работы ЭАК предлагается минимум суммарных простоев экскаваторов и самосвалов в ожидании работы. Использование такого критерия представляется несколько упрощённым, поскольку в процессе работы ЭАК большую роль играют простои техники и по другим причинам, не связанным с технологическим процессом.

И, наконец, недостатком всех рассмотренных выше вариантов методики является то, что они не позволяют достоверно оценивать качество совместной работы взаимодействующих друг с другом экскаваторов и самосвалов, составляющих ЭАК как единой погрузочно-транспортной системы разреза.

2.2 Функциональный критерий оценки качества работы экскаваторно-автомобильного комплекса разреза

Функциональный критерий является основой для разработки методики безэкспертной оценки качества работы карьерных ЭАК. Применительно к ЭАК карьеров вариант указанной методики безэкспертной оценки рассмотрен в работе Ц. Нанзада [87]. Функциональный критерий в ней представляется как простая сумма функциональных критериев входящих в состав комплекса экскаваторов и самосвалов. При этом рассматриваются различные сочетания одного экскаватора и одного самосвала, а не взаимодействие парков машин. Представление функционального критерия ЭАК как суммы критериев отдельных машин не в полной мере соответствует реальности, поскольку никак не учитывает совместную работу экскаваторов и самосвалов. А это является одним из важнейших принципов оценки качества работы карьерных ЭАК. В других работах, например [90], функциональные критерии имеют слишком общий характер, затрудняющий его определение для конкретных условий.

Отсюда следует, что для оценки качества работы ЭАК должен быть разработан оригинальный вариант функционального критерия и набора показателей,

определяющих совершенство технологического процесса работы ЭАК в составе единой погрузочно-транспортной системы разреза.

Работу ЭАК как единой системы следует рассматривать как результат взаимодействия составляющих его парков карьерных экскаваторов и самосвалов при ограничениях, накладываемых внешней горной средой. С точки зрения взаимодействия парков карьерных экскаваторов и самосвалов в ЭАК оценка качества заключается в установлении того, насколько эффективно каждый из парков и оба в комплексе выполняют свои функции в конкретных условиях. Для такой оценки и нужен функциональный критерий, отражающий, прежде всего, совместную работу взаимодействующих друг с другом экскаваторного и автотранспортного парков в составе ЭАК, а также ЭАК в целом [91].

С точки зрения совместной работы карьерных экскаваторов и самосвалов основным назначением экскаваторов, являющихся ведущими машинами комплекса, является обеспечение высокой производительности ЭАК; основным назначением самосвалов – способность обеспечить достижение этой высокой производительности, то есть работа парков экскаваторов и самосвалов должна быть максимально сбалансирована. Сбалансировать суммарную производительность имеющихся на предприятии $N_э$ экскаваторов при помощи необходимого для этого количества $N_с$ самосвалов возможно путём сопоставления фактической производительности парка экскаваторов с потенциальной (теоретической) производительностью парка самосвалов [92].

Суммарную сменную (суточную) эксплуатационную производительность (выработку) экскаваторного парка ЭАК можно определить по формуле [$\text{м}^3/\text{смену (сутки)}$]:

$$\Pi_{\Sigma}^э = \frac{E_{\kappa}^э}{t_{\text{ц}}^э} \cdot N_э \cdot T_{\text{см}} \cdot k_{\text{ЭАК}}, \quad (2.2)$$

где $E_{\kappa}^э$ – вместимость ковша экскаватора, м^3 ;

$t_{\text{ц}}^э$ – продолжительность цикла экскаватора (время погрузки одного ковша), мин;

$N_э$ – количество экскаваторов в ЭАК;

$T_{\text{см}}$ – продолжительность рабочей смены (суток), мин;

$k_{\text{ЭАК}}$ – коэффициент эксплуатационной производительности ЭАК.

Здесь и далее при определении производительности машин не учитываются различные корректирующие коэффициенты, поскольку их учёт для цели исследования данной работы не является существенным.

Коэффициент эксплуатационной производительности $k_{\text{ЭАК}}$ представляет собой отношение чистого времени работы экскаваторов и самосвалов к продолжительности смены с учётом всех регламентированных и неплановых простоев и имеет вид [7]:

$$k_{\text{ЭАК}} = 1 - \frac{\sum_1^{N_{\text{э}}} t_{\text{пр}}^{\text{э}} + \sum_1^{N_{\text{с}}} t_{\text{пр}}^{\text{с}}}{T_{\text{см}}(N_{\text{э}} + N_{\text{с}})}, \quad (2.3)$$

где $\sum_1^{N_{\text{э}}} t_{\text{пр}}^{\text{э}}$, $\sum_1^{N_{\text{с}}} t_{\text{пр}}^{\text{с}}$ – суммарные простои $N_{\text{э}}$ экскаваторов и $N_{\text{с}}$ самосвалов в течение рабочей смены (суток) соответственно, мин.

Следует отметить, что в $\sum_1^{N_{\text{с}}} t_{\text{пр}}^{\text{с}}$ здесь не включаются простои самосвалов в ожидании погрузки. Они включены в продолжительность рейса самосвала.

Суммарная теоретическая производительность парка карьерных самосвалов составляет [$\text{м}^3/\text{смену (сутки)}$]:

$$P_{\Sigma}^{\text{с}} = \frac{E_{\text{к}}^{\text{с}}}{t_{\text{р}}} \cdot N_{\text{с}} \cdot T_{\text{см}},$$

где $E_{\text{к}}^{\text{с}}$ – вместимость кузова самосвала, м^3 ;

$t_{\text{р}}$ – время рейса самосвала от окончания предыдущей погрузки до начала следующей с учётом простоев в ожидании погрузки, мин;

$N_{\text{с}}$ – количество самосвалов в ЭАК.

Соотношение этих производительностей ($P_{\Sigma}^{\text{с}}$ и $P_{\Sigma}^{\text{э}}$) в наибольшей степени характеризует сбалансированность совместной работы парков карьерных самосвалов и экскаваторов, а, следовательно, может служить функциональным критерием оценки качества работы ЭАК. Имеем

$$\lambda = \frac{P_{\Sigma}^{\text{с}}}{P_{\Sigma}^{\text{э}}} = \frac{E_{\text{к}}^{\text{с}} \cdot N_{\text{с}} \cdot T_{\text{см}} \cdot t_{\text{ц}}^{\text{э}}}{E_{\text{к}}^{\text{э}} \cdot N_{\text{э}} \cdot T_{\text{см}} \cdot t_{\text{р}}^{\text{с}} \cdot k_{\text{ЭАК}}}.$$

Учитывая, что $E_K^c/E_K^э = n_K$ – количество ковшей, загружаемых в кузов самосвала, а $t_{ц}^э \cdot n_K = t_{п}^э$ – время полной загрузки кузова самосвала данным экскаватором, после преобразований получим:

$$\lambda = \frac{N_c}{\frac{N_э}{t_{п}^э} \cdot t_p \cdot k_{ЭАК}}. \quad (2.4)$$

Из зависимости (2.4) видно, что функциональный критерий λ представляет собой соотношение интенсивности поступления самосвалов под погрузку λ_c и интенсивности обслуживания их экскаваторами $\lambda_э$. Лучшим вариантом является $\lambda = 1$, когда самосвалы прибывают к экскаваторам с той же интенсивностью, с какой обслуживаются. При $\lambda > 1$ самосвалы прибывают быстрее, чем обслуживаются, поэтому следует ожидать возникновения очередей самосвалов; при $\lambda < 1$ экскаваторы работают быстрее, чем прибывают самосвалы, и тогда вероятны простои экскаваторов в ожидании прибытия самосвалов. Во избежание этого обычно добавляют дополнительные «лишние» самосвалы.

Кроме того, зависимость (2.4) справедлива, когда поступление самосвалов под погрузку осуществляется равномерно, то есть каждый последующий самосвал прибывает под погрузку ровно в тот момент времени, когда освобождается предыдущий. Однако добиться абсолютно-равномерного движения самосвалов в карьере практически невозможно из-за большого числа непредвиденных факторов. Это и присутствие в погружаемой горной массе негабарита или большого количества налипающих глин, что приводит к удлинению цикла погрузки; возможность непредвиденного взаимодействия самосвалов в точках пересечения карьерных автодорог; невозможность обгона тихоходных самосвалов более быстроходными машинами, что может привести к заторам; разное качество внутрикарьерных, поверхностных и отвальных дорог; различная степень изношенности машин и квалификации водителей влияет на скорость движения самосвалов и возможность их поломки. В результате, даже если самосвалов в ЭАК достаточно для обеспечения вывоза всей горной массы, погружаемой имеющимися экскаваторами в течение смены при условии равномерной работы, простои и экскаваторов, и

самосвалов всё равно будут возникать из-за появляющейся неравномерности прибытия самосвалов под погрузку из-за указанных выше непредвиденных факторов. Большое влияние оказывает также используемая на предприятии стратегия оперативного распределения карьерных самосвалов между экскаваторами (организация работы с жёстким закреплением самосвалов за конкретными экскаваторами, без закрепления вообще, по комбинированной схеме).

Зависимость (2.4) предполагает также, что парки погрузочно-транспортного горного оборудования являются однородными, то есть на каждом разрезе используется только один типоразмер самосвалов и экскаваторов. Попытка рассмотреть различные варианты состава и структуры парков при определении функционального критерия была сделана в работе [93]. Однако на практике чаще всего встречаются смешанные (разномарочные) парки техники (таблица 1.1). Поэтому можно ограничиться рассмотрением лишь смешанных парков, для чего в формуле (2.4) целесообразно пользоваться средневзвешенными величинами соответствующих показателей.

Они определяются следующим образом. Вначале нужно определить время, необходимое каждому экскаватору для обслуживания работающих с ним самосвалов. Время погрузки самосвалов ($t_{пj}^э$) для каждого j -го экскаватора определится как

$$t_{пj}^э = \sum_1^{N_c} t_{пij}^э \cdot N_{ci}, \quad (2.5)$$

где $t_{пij}^э$ – время загрузки j -м экскаватором i -го самосвала, мин.

Тогда интенсивность обслуживания всех самосвалов всеми экскаваторами будет равна

$$\lambda_э = \sum_1^{N_э} \left(\frac{N_{эj}}{t_{пj}^э} \right) \cdot N_c \cdot k_{эАК}. \quad (2.6)$$

Интенсивность поступления самосвалов под погрузку определится как (авт./мин):

$$\lambda_c = \frac{N_c}{t_p}, \quad (2.7)$$

где $\bar{t}_p$ – усреднённое время рейса (включая простой в ожидании погрузки) для всех самосвалов за смену (сутки), мин.

Поскольку парк самосвалов смешанный, целесообразно использовать индивидуальные значения времени цикла самосвалов, то есть в формуле (2.7) вместо среднего времени надо применять средневзвешенные значения индивидуальных продолжительностей цикла самосвалов. Имеем зависимость

$$\bar{t}_p = \frac{\sum_1^{N_c} (t_{pi} \cdot N_{ci})}{N_c}, \quad (2.8)$$

где t_{pi} – время рейса i -го самосвала, мин.

Поскольку функциональный критерий λ – это отношение интенсивности поступления самосвалов под погрузку к интенсивности обслуживания их экскаваторами, то, поделив выражение (2.7) на (2.6), и подставив соответствующие выражения (2.5) и (2.8), получим:

$$\lambda = \frac{N_c}{\sum_1^{N_3} \left[\frac{N_{3j}}{\sum_1^{N_c} (t_{pij}^3 \cdot N_{ci})} \right] \cdot \sum_1^{N_c} (t_{pi} \cdot N_{ci}) \cdot k_{ЭАК}}. \quad (2.9)$$

Нетрудно заметить, что выражение для определения функционального критерия λ (2.9) является расширенным (индивидуализированным по экскаваторам и самосвалам) вариантом исходной зависимости (2.4).

В формуле (2.9) основными являются четыре неизвестных величины:

t_{pij}^3 – продолжительность загрузки i -го самосвала j -м экскаватором;

t_{pi} – продолжительность рейса i -го самосвала (включая простои в ожидании погрузки);

$\sum_1^{N_c} t_{пр}^c$, $\sum_1^{N_3} t_{пр}^3$ – суммарные простои самосвалов и экскаваторов в течение рабочей смены (суток) соответственно.

Величины t_{pij}^3 и t_{pi} могут быть определены аналитическим путём или приняты по фактическим данным предприятия. И если t_{pij}^3 аналитически определить достаточно точно возможно, то время рейса самосвала t_{pi} – затруднительно. Поэтому во избежание получения некорректных результатов желательно использо-

вать фактические значения. На некоторых предприятиях (в УК «Кузбассразрез-уголь» это разрезы «Кедровский» и «Талдинский») на самосвалах установлена система управления и учёта работы карьерного автотранспорта, позволяющая записывать время выполнения всех операций с точностью до секунды. К аналитическим расчётам или хронометражу следует прибегать, если на самосвалах такая система не установлена. При аналитических расчётах использовались методики, изложенные в работах [7, 80].

Суммарные простои самосвалов $\sum_1^{N_c} t_{\text{пр}}^c$ и экскаваторов $\sum_1^{N_3} t_{\text{пр}}^3$ являются существенно стохастическими величинами, поэтому аналитическое их определение невозможно. Они должны приниматься только по фактическим данным предприятий. Все эти показатели фиксируются в сводных отчётах о работе ЭАК разрезов и Компании в целом на каждую рабочую смену (сутки), которые приведены в таблицах 2.1–2.7.

Полученный функциональный критерий (2.4) и (2.9) позволяет количественно оценить выполнение ЭАК своей функции и может быть использован при интегральной оценке качества его работы.

2.3 Формирование комплекса показателей качества работы экскаваторно-автомобильного комплекса разреза

После определения функционального критерия следующей важнейшей задачей методики является установление комплекса показателей, характеризующих качество работы ЭАК. Как показывает анализ исследований по данному вопросу (см. пункты 1.3 и 2.1), в подходах к решению и этой задачи нет единства.

Номенклатура показателей устанавливается в зависимости, прежде всего, от выбранного критерия. Нами выбран функциональный критерий в виде (2.4) или (2.9). Таким образом, в указанную номенклатуру должны входить, прежде всего, показатели, в наибольшей степени влияющие на функциональный критерий.

Кроме того, методика Г.И. Солода [67, 68] требует, чтобы выбранные показатели качества были представительными, что обеспечит достоверность полученных результатов; быть независимыми друг от друга; не использоваться напрямую

Таблица 2.1 – Сводный отчёт о работе экскаваторно-автомобильного комплекса разреза «Кедровский»

Объекты, Показатели	Общие внутрисменные простои техники, $t_{\text{пр}}^{\text{T}}$, мин	Простои самосвалов, $t_{\text{пр}}^{\text{с}}$, мин	Простои экскаваторов, $t_{\text{пр}}^{\text{э}}$, мин	Время погрузки, $t_{\text{п}}^{\text{э}}$, мин	Расстояние транспортирования, $L_{\text{тр}}$, км	Время гружёного пробега, $t_{\text{тр}}$, мин	Время разгрузки, $t_{\text{разгр}}$, мин	Время порожнего пробега, $t_{\text{пор}}$, мин	Продолжительность рейса, $t_{\text{р}}$, мин	в том числе: простои самосвалов в ожидании погрузки, $t_{\text{пр}}^{\text{с ож}}$, мин	Время рейса с учётом простоев техники, $(t_{\text{р}} + t_{\text{пр}}^{\text{T}})$, мин
БелАЗ-75131 (2 единицы)											
– с ЭШ-10/70 (1 ед., 101 рейс)	456,6	30,6	426	754,9	92,92	306,8	78,7	245,3	1481,1	95,4	1937,7
БелАЗ-75306 (29 единиц)											
– с R 9200 (1 ед., 145 рейсов)	657,0	315,5	192,0	529,3	545,20	1987,2	119,8	1470,7	4222,3	115,3	4879,3
– с ЭКГ-10 (1 ед., 111 рейсов)	502,9	241,5	0	624,4	417,36	1521,3	91,7	1125,9	3451,4	88,2	3954,3
– с ЭКГ-12 (1 ед., 119 рейсов)	539,2	258,9	258,0	496,9	447,44	1630,9	98,3	1207,0	3527,7	94,6	4066,9
– с ЭКГ-15 (2 ед., 200 рейсов)	906,2	435,1	888,0	807,6	752,0	2741,0	165,2	2028,6	5901,4	159,0	6807,6
– с P&H-2800 (2 ед., 388 рейсов)	1757,9	844,2	930,0	790,7	1458,88	5317,5	320,5	3935,5	10672,7	308,5	12430,6
Всего по разрезу, в том числе:	4819,8	2125,8	2694	4003,7	3713,8	13505	874,1	10013	29256,8	861,0	34076,6
– на 1 самосвал (31 единица)	155,5	68,6	86,9	129,2	119,8	435,6	28,2	323,0	943,8	27,8	1099,2
– на 1 рейс (1064 рейса)	4,5	2,0	2,5	3,8	3,5	12,7	0,8	9,4	27,5	0,8	(18,3 ч.)
$k_{\text{ЭАК}} = 0,888$								$\lambda = 0,597$			

Таблица 2.2 – Сводный отчёт о работе экскаваторно-автомобильного комплекса разреза «Моховский»

Объекты, Показатели	Общие внутрисмен- ные простои техники, $t_{пр}^T$, мин	Простои самосвалов, $t_{пр}^С$, мин	Простои экскаваторов, $t_{пр}^Э$, мин	Время погрузки, $t_{п}^Э$, мин	Расстояние транспортирования, $L_{тр}$, км	Время гружёного пробега, $t_{гр}$, мин	Время разгрузки, $t_{разгр}$, мин	Время порожнего пробега, $t_{пор}$, мин	Продолжительность рейса, t_r , мин	в том числе: простои самосвалов в ожидании погрузки, $t_{пр}^{Сож}$, мин	Время рейса с учётом простоев техники, $(t_r + t_{пр}^T)$, мин
Моховское поле											
<i>БелАЗ-75131</i> (7 единиц)											
– с R-984C (1 ед., 313 рейсов)	318,9	138,9	180	1273	594,7	2022,8	278,1	1690	5409,1	145,2	5728
– с ЭШ-13/50 (1 ед., 127 рейсов)	975,3	255,3	720	641,4	241,3	848,2	129,8	670,6	2348,8	58,8	3324,1
Сартакинское поле											
<i>БелАЗ-75131</i> (10 единиц)											
– с ЭКГ-10 (1 ед., 180 рейсов)	110,3	110,3	0	555,1	363,6	1287,9	149,2	992,5	2990,5	5,8	3100,8
– с ЭКГ-12 (1 ед., 196 рейсов)	260,6	140,6	120	503,7	395,9	1402,4	166	1075,2	3147,3	0	3407,9
– с ЭКГ-8И (1 ед., 86 рейсов)	602,3	62,3	540	318,8	173,7	615,3	66,3	496,3	1503,8	7,1	2106,1
– с ЭКГ-8УС (1 ед., 143 рейса)	117,6	57,6	60	530,1	288,9	1023,2	120	772	2453,4	8,1	2571
Караканское поле											
<i>БелАЗ-75131</i> (11 единиц)											
– с ЭКГ-10 (2 ед., 170 рейсов)	1934,6	74,6	1860	524,3	377,4	1285,5	179,9	1069,3	3091,1	32,1	5025,7
– с R-994 (1 ед., 296 рейсов)	394,5	94,5	300	756,3	657,1	2238,4	317,4	1827	5204,6	65,5	5599,1
– с ЭШ-10/70 (1 ед., 121 рейс)	160,3	88,3	72	938,5	268,6	915	123,7	801,8	2811,6	32,6	2971,9
Всего по разрезу, в том числе:	4874,4	1022,4	3852	6041	3361,2	11639	1530	9394,7	28960,2	355,2	33834,6
– на 1 самосвал (28 единиц)	174,1	36,5	137,6	215,8	120	415,7	54,7	335,5	1034,3	12,7	1208,4
– на 1 рейс (1632 рейса)	3,0	0,6	2,4	3,7	2,1	7,1	0,9	5,8	17,7	0,2	(20,1 ч.)
$k_{ЭАК} = 0,894$								$\lambda = 0,653$			

Таблица 2.3 – Сводный отчёт о работе экскаваторно-автомобильного комплекса разреза «Бачатский»

Объекты, Показатели	Общие внутрисменные простои техники, $t_{пр}^T$, мин	Простои самосвалов, $t_{пр}^C$, мин	Простои экскаваторов, $t_{пр}^Э$, мин	Время погрузки, $t_{п}^Э$, мин	Расстояние транспортирования, $L_{тр}$, км	Время грузёного пробега, $t_{тр}$, мин	Время разгрузки, $t_{разгр}$, мин	Время порожнего пробега, $t_{пор}$, мин	Продолжительность рейса, t_p , мин	в том числе: простои самосвалов в ожидании погрузки, $t_{пр}^{Cож}$, мин	Время рейса с учётом простоев техники, $(t_p + t_{пр}^T)$, мин
БелАЗ-75603 (2 единицы)											
– с Р&Н-4100ХРС (0,7 ед., 170 р.)	7,2	7,2	0	352,9	912,9	3324,7	177,5	2507,3	6476,4	114	6483,6
БелАЗ-75600 (7 единиц)											
– с Р&Н-4100ХРС (0,3 ед., 123 р.)	16,2	16,2	0	233,1	565,8	1981,5	124,6	1529,1	3945,8	77,4	3962
БелАЗ-75306 (58 единиц)											
– с ЭКГ-15 (3 ед., 414 рейсов)	1585,6	1453,6	132	1671,7	2455	8436,1	373	6432,7	17473,2	559,7	19068,8
– с ЭКГ-18 (1 ед., 56 рейсов)	1073,5	203,5	870	181,7	332,1	1141,1	50,5	870,1	2319,1	75,7	3392,6
– с Р&Н-2800 (2 ед., 567 рейсов)	2071,4	2071,4	0	1155,5	3362,3	11554	510,3	8810	22796,2	766,6	24867,6
– с WK-35 (2 ед., 503 рейса)	2360,3	1868,3	492	932,6	2982,8	10250	453,7	7815,7	20131,6	680	22491,9
Всего по разрезу, в том числе:	7114,2	5620,2	1494	4527,5	19611	36687	1690	27965	73141,7	2273,4	80255,9
– на 1 самосвал (67 единиц)	106,2	83,9	22,3	67,6	158,4	547,6	25,2	417,4	1091,7	33,90	1197,9
– на 1 рейс (1833 рейса)	3,9	3,1	0,8	2,5	5,8	20,0	0,9	15,3	39,9	1,2	(20,0 ч.)
$k_{ЭАК} = 0,922$								$\lambda = 0,500$			

Таблица 2.4 – Сводный отчёт о работе экскаваторно-автомобильного комплекса разреза «Краснобродский»

Объекты, Показатели	Общие внутрисменные простой техники, $t_{\text{пр}}^T$, мин	Простой самосвалов, $t_{\text{пр}}^C$, мин	Простой экскаваторов, $t_{\text{пр}}^Э$, мин	Время погрузки, $t_{\text{п}}^Э$, мин	Расстояние транспортирования, $L_{\text{тр}}$, км	Время гружёного пробега, $t_{\text{гр}}$, мин	Время разгрузки, $t_{\text{разгр}}$, мин	Время порожнего пробега, $t_{\text{пор}}$, мин	Продолжительность рейса, t_r , мин	в том числе: простой самосвалов в ожидании погрузки, $t_{\text{пр}}^{C \text{ож}}$, мин	Время рейса с учётом простоев техники, $(t_r + t_{\text{пр}}^T)$, мин
Вахрушевское поле											
БелАЗ-75131 (26 единиц)											
– с R-984C (1 ед., 120 рейсов)	693,1	33,1	660	488	453,6	1482	101,3	1208,1	3279,4	0	3972,5
– с ЭКГ-10 (2 ед., 469 рейсов)	861,4	129,4	732	1446,4	1772,8	5792,2	395,8	4721,9	12389,6	33,3	13251
– с ЭКГ-18Р (1 ед., 464 рейса)	367,9	127,9	240	825,5	1753,9	5730,4	391,6	4671,6	11660,2	41,1	12028,1
Краснобродское поле											
БелАЗ-75306 (67 единиц)											
– с ЭКГ-10 (1 ед., 142 рейса)	246	96	150	798,8	702,9	2476,6	113,6	1846	5311,3	76,3	5557,3
– с ЭКГ-12 (2 ед., 435 рейсов)	288	288	0	1816,6	2153,2	7586,8	348	5642	15615,2	221,8	15903,2
– с ЭКГ-32Р (1 ед., 341 рейс)	528	228	300	691,5	1670,9	5947,4	272,8	4422,8	11508,4	173,9	12036,4
– с ЭКГ-35 (1 ед., 394 рейса)	450	270	180	779,3	1960	6871,8	315,2	5161,4	13324,7	197	13774,7
– с RH-120 (1 ед., 231 рейс)	150	150	0	905,8	1143,5	4028,9	189,4	2996,1	8238	117,8	8388
– с P&H-2800 (1 ед., 433 рейса)	330	330	0	908,4	2121,7	7552	355,1	5577,1	14613,4	220,8	14943,4
– с WK-35 (1 ед., 489 рейсов)	297	297	0	906,6	2449,6	8528,6	397,6	6325,6	16407,8	249,4	16704,8
Всего по разрезу, в том числе:	4209,4	1947	2262	9566,9	16182,1	55997	2880	42573	112348	1331,4	116557,4
– на 1 самосвал (93 единицы)	45,3	20,9	24,3	102,9	174	602,1	31	457,8	1208	14,3	1253,3
– на 1 рейс (3518 рейсов)	1,2	0,6	0,6	2,7	4,6	15,9	0,8	12,1	31,9	0,4	(20,9 ч.)
$k_{\text{ЭАК}} = 0,968$								$\lambda = 0,682$			

Таблица 2.5 – Сводный отчёт о работе экскаваторно-автомобильного комплекса разреза «Талдинский»

Объекты, Показатели	Общие внутрисменные простои техники, $t_{\text{пр}}^{\text{Т}}$, мин	Простой самосвалов, $t_{\text{пр}}^{\text{С}}$, мин	Простой экскаваторов, $t_{\text{пр}}^{\text{Э}}$, мин	Время погрузки, $t_{\text{п}}^{\text{Э}}$, мин	Расстояние транспортирования, $L_{\text{гр}}$, км	Время гружёного пробега, $t_{\text{гр}}$, мин	Время разгрузки, $t_{\text{разгр}}$, мин	Время порожнего пробега, $t_{\text{пор}}$, мин	Продолжительность рейса, $t_{\text{р}}$, мин	в том числе: простой самосвалов в ожидании погрузки, $t_{\text{пр}}^{\text{Сож}}$, мин	Время рейса с учётом простоев техники, $(t_{\text{р}} + t_{\text{пр}}^{\text{Т}})$, мин
Талдинское поле											
БелАЗ-75600 (3 единицы)											
– с Р&Н-4100ХРС (0,3 ед., 113 р.)	0	0	0	214,1	537,9	1906,1	113	1477,7	3736,7	25,8	3736,7
БелАЗ-75306 (44 единицы)											
– с Р&Н-4100ХРС (0,7 ед., 363 р.)	412,2	412,2	0	448,7	1426,6	4941,5	324,5	3797,3	9627,1	115,1	10039,3
– с ЭКГ-15 (3 ед., 360 рейсов)	1351,1	415,1	936	1453,6	1414,8	4900,7	321,8	3766	10721,1	279	12072,2
– с ЭКГ-18 (1 ед., 198 рейсов)	842,3	842,3	0	642,5	778,2	2695,4	177	2071,3	6045,4	459,2	6887,7
– с WK-35 (2 ед., 638 рейсов)	732,8	534,8	198	1182,8	2507,3	8685,1	570,4	6674,1	17336,7	224,3	18069,5
Тайёжное поле											
БелАЗ-75131 (2 единицы)											
– с ЭКГ-10 (0,5 ед., 73 рейса)	466,8	208,8	258	225,1	345,3	1121,6	67,7	891	2432,1	126,6	2898,9
БелАЗ-75306 (24 единицы)											
– с ЭКГ-10 (1,5 ед., 211 рейсов)	758,1	80,1	678	1186,9	884,1	3167,3	174,7	2342,9	7217,4	345,6	7975,5
– с ЭКГ-12 (1 ед., 203 рейса)	485	77	408	847,7	850,6	3047,2	168,1	2252,3	6647,8	332,5	7132,8
– с ЭКГ-18 (1 ед., 218 рейсов)	633,7	81,7	552	707,4	913,4	3272,4	180,5	2419,8	6937,2	357,1	7570,9
– с R-994 (1 ед., 190 рейсов)	451,2	73,2	378	805,2	796,1	2852,1	157,3	2112,5	6238,3	311,2	6689,5
Ерунаковское поле											
БелАЗ-75131 (18 единиц)											
– с РС 1250SP-7 (1 ед., 232 рейса)	101	23	78	1016,2	754	2430,2	145,7	1914	5683,7	177,6	5784,7
– с ЭКГ-18Р (1 ед., 573 рейса)	142	70	72	1019,4	1862,3	6002,2	359,8	4588	12502,2	532,8	12644,2
Всего по разрезу, в том числе:	6376,2	2818,2	3558	9749,6	13071,6	45021,8	2760,5	34306,9	95125,7	3286,8	101501,8
– на 1 самосвал (91 единица)	70,1	31	39,1	107,1	143,6	494,7	30,3	377,0	1045,4	36,1	1115,4
– на 1 рейс (3372 рейса)	1,9	0,8	1,1	2,9	3,9	13,4	0,8	10,2	28,2	1,0	(18,6 ч.)
$k_{\text{ЭАК}} = 0,946$								$\lambda = 0,704$			

Таблица 2.6 – Сводный отчёт о работе экскаваторно-автомобильного комплекса разреза «Калтанский»

Объекты, Показатели	Общие внутрисменные простои техники, $t_{\text{пр}}^T$, мин	Простой самосвалов, $t_{\text{пр}}^c$, мин	Простой экскаваторов, $t_{\text{пр}}^э$, мин	Время погрузки, $t_{\text{п}}^э$, мин	Расстояние транспортирования, $L_{\text{тр}}$, км	Время гружёного пробега, $t_{\text{гр}}$, мин	Время разгрузки, $t_{\text{разгр}}$, мин	Время порожнего пробега, $t_{\text{пор}}$, мин	Продолжительность рейса, $t_{\text{р}}$, мин	в том числе: простои самосвалов в ожидании погрузки, $t_{\text{пр}}^{c\text{ож}}$, мин	Время рейса с учётом простоев техники, ($t_{\text{р}} + t_{\text{пр}}^T$), мин
Калтанское поле											
БелАЗ-75131 (3 единицы)											
– с Р 9100 (1 ед., 100 рейсов)	436,8	16,8	420	296,5	429,0	1413,5	101,0	1080,4	2900,4	9,0	3337,2
БелАЗ-75306 (16 единиц)											
– с ЭКГ-10 (2 ед., 182 рейса)	71,2	71,2	9	1023,8	655,2	2308,9	166,2	1744,1	5325,3	82,3	5396,5
– с ЭКГ-18 (3 ед., 471 рейс)	184,4	184,4	0	1528,4	1695,6	5975,1	430,0	4513,6	12660,0	212,9	12844,4
Осинниковское поле											
БелАЗ-75131 (6 единиц)											
– с ЭКГ-8И (1 ед., 170 рейсов)	114,0	42,0	72,0	630,2	637,6	2436,5	133,3	1907,6	5120,6	13,0	5234,6
– с ЭКГ-10 (0,6 ед., 98 рейсов)	209,4	24,0	185,4	302,2	512,1	1404,5	76,8	1099,6	2897,1	14,0	3106,5
БелАЗ-75306 (6 единиц)											
– с ЭКГ-10 (1,4 ед., 122 рейса)	518,1	85,5	432,6	376,2	439,2	1521,5	101,8	1194,7	3336,3	142,1	3854,4
– с РН-90 (1 ед., 98 рейсов)	207,3	33,3	174	290,6	352,8	1222,1	81,7	959,7	2668,2	114,1	2875,5
Всего по разрезу, в том числе:	1741,2	457,2	1470,6	4447,9	4721,5	16282,1	1091	12500	34907,9	587,4	36649,1
– на 1 самосвал (31 единица)	56,2	14,8	47,4	143,5	152,3	525,2	35,2	403,2	1126,1	19,0	1182,2
– на 1 рейс (1241 рейс)	1,4	0,4	1,2	3,6	3,8	13,1	0,9	10,1	28,1	0,5	(19,7 ч.)
$k_{\text{ЭАК}} = 0,964$								$\lambda = 0,410$			

Таблица 2.7 – Сводный отчёт о работе экскаваторно-автомобильного комплекса УК «Кузбассразрезуголь»

Показатели	Общие внутрисменные простой техники, $t_{\text{пр}}^T$, мин	Простой самосвалов, $t_{\text{пр}}^c$, мин	Простой экскаваторов, $t_{\text{пр}}^э$, мин	Время погрузки, $t_{\text{п}}^э$, мин	Расстояние транспортирования, $L_{\text{тр}}$, км	Время гружёного пробега, $t_{\text{гр}}$, мин	Время разгрузки, $t_{\text{разгр}}$, мин	Время порожнего пробега, $t_{\text{пор}}$, мин	Продолжительность рейса, $t_{\text{р}}$, мин	в том числе: простой в ожидании погрузки, $t_{\text{пр}}^{c \text{ ож}}$, мин	Время рейса с учётом простоев техники, $(t_{\text{р}} + t_{\text{пр}}^T)$, мин
Разрез «Кедровский»											
По разрезу, в том числе:	4819,8	2125,8	2694	4003,7	3713,8	13504,8	874,1	10013	29256,6	861	34076,4
– на самосвал (31 ед.)	155,45	68,6	86,9	129,15	119,8	435,6	28,2	323,0	943,75	27,8	1099,2
– на рейс (1064 рейса)	4,530	1,998	2,532	3,763	3,49	12,692	0,822	9,411	27,497	0,809	(18,3 ч.)
$k_{\text{ЭАК}} = 0,888$								$\lambda = 0,597$			
Разрез «Моховский»											
По разрезу, в том числе:	4874,4	1022,4	3852	6041,2	3361,2	11638,7	1530,4	9394,7	28960,2	355,2	33834,6
– на самосвал (28 ед.)	174,1	36,5	137,6	215,8	120	415,7	54,7	335,5	1034,3	12,7	1208,4
– на рейс (1632 рейса)	2,987	0,626	2,360	3,702	2,06	7,132	0,938	5,757	17,746	0,218	(20,1 ч.)
$k_{\text{ЭАК}} = 0,894$								$\lambda = 0,653$			
Разрез «Бачатский»											
По разрезу, в том числе:	7114,2	5620,2	1494,0	4527,5	10611	36686,8	1689,6	27965	73142,2	2273,4	80256,4
– на самосвал (67 ед.)	106,2	83,9	22,3	67,6	158,4	547,6	25,2	417,4	1091,7	33,9	1197,9
– на рейс (1833 рейса)	3,881	3,066	0,815	2,470	5,79	20,015	0,922	15,256	39,903	1,240	(20,0 ч.)
$k_{\text{ЭАК}} = 0,922$								$\lambda = 0,500$			

Окончание таблицы 2.7

Разрез «Краснобродский»											
По разрезу, в том числе:	4209,4	1947,4	2262,0	9566,9	16182,1	55996,7	2880,4	42573	112348	1331,4	116557
– на самосвал (93 ед.)	45,3	20,9	24,3	102,9	174	602,1	31	457,8	1208	14,3	1253,3
– на рейс (3518 рейсов)	1,197	0,554	0,643	2,719	4,60	15,917	0,819	12,101	31,934	0,378	(20,9 ч.)
$k_{\text{ЭАК}} = 0,968$								$\lambda = 0,682$			
Разрез «Талдинский»											
По разрезу, в том числе:	6376,2	2818,2	3558,0	9749,6	13071,6	45021,8	2760,5	34307	95125,7	3286,8	101502
– на самосвал (91 ед.)	70,1	31	39,1	107,1	143,6	494,7	30,3	377	1045,4	36,1	1115,4
– на рейс (3372 рейса)	1,891	0,836	1,055	2,891	3,88	13,352	0,819	10,174	28,211	0,975	(18,6 ч.)
$k_{\text{ЭАК}} = 0,946$								$\lambda = 0,704$			
Разрез «Калтанский»											
По разрезу, в том числе:	1741,2	457,2	1470,6	4447,9	4721,5	16282,1	1090,8	12500	34907,9	587,4	36649,1
– на самосвал (31 ед.)	56,2	14,8	47,4	143,5	152,3	525,2	35,2	403,2	1126,1	19	1182,2
– на рейс (1241 рейс)	1,403	0,368	1,185	3,584	3,80	13,120	0,879	10,072	28,128	0,473	(19,7 ч.)
$k_{\text{ЭАК}} = 0,964$								$\lambda = 0,410$			
Угольная Компания «Кузбассразрезуголь»											
По Компании, в том числе:	29135,2	13991,2	15330,6	38336,8	51661,2	179130,9	10825,8	136752	373740,6	8695,2	402875,8
– на самосвал (341 ед.)	85,4	41	45	112,4	151,5	525,3	31,7	401	1096	25,5	1181,45
– на рейс (12660 рейсов)	2,301	1,105	1,211	3,028	4,08	14,149	0,855	10,802	29,521	0,687	(19,7 ч.)
$k_{\text{ЭАК}} = 0,939$								$\lambda = 0,591$			

при определении функционального критерия; если с уменьшением значений показателей качество ухудшается, то в качестве единичных показателей должны быть приняты их обратные величины.

Одним из важнейших показателей, характеризующих состав парков погрузочно-транспортной техники, является соотношение количества самосвалов и экскаваторов, которое можно назвать коэффициентом состава ЭАК:

$$k'_N = \frac{N_c}{N_3}.$$

Этот показатель отражает количество самосвалов, обслуживающих каждый экскаватор, и является очень важным. Если самосвалов недостаточно, простаивают экскаваторы в ожидании работы; если самосвалов излишек – простаивают они. Однако показатель k'_N прямо входит в функциональный критерий (зависимость 2.4), поэтому вторично, как единичный показатель качества, использоваться не может.

Так же напрямую в функциональный критерий (2.4) входит время загрузки самосвала экскаватором $t_{\text{п}}^3$, коэффициент эксплуатационной производительности $k_{\text{ЭАК}}$ и продолжительность рейса самосвала $t_{\text{р}}$, которые в чистом виде в число единичных показателей качества работы ЭАК входить также не могут. А вот их отдельные составляющие могут стать предметом дальнейшего рассмотрения.

Для этого, прежде всего, необходимо проанализировать рабочий цикл карьерного самосвала.

Время цикла (рейса) карьерного самосвала может быть определено как сумма продолжительностей всех технологических операций, составляющих цикл: загрузки ($t_{\text{п}ij}^3$), транспортирования горной массы до места разгрузки ($t_{\text{гр}i}$), разгрузки ($t_{\text{разгр}i}$), движения порожнего самосвала к пункту следующей погрузки ($t_{\text{пор}i}$), простоя самосвала в ожидании погрузки ($t_{\text{пр}ij}^c$), а также времени установки под погрузку ($t_{\text{у.п}}$) и разгрузку ($t_{\text{у.р}}$). При этом время установки самосвала под погрузку-разгрузку (сюда же можно отнести и время разгрузки самосвала), не носят стохастического характера и нормируются, например, уже упоминавшейся «Инст-

рукцией по учёту рабочего времени технологического автотранспорта», действующей в УК «Кузбассразрезуголь» [11].

Таким образом, наиболее значимыми составляющими времени рейса самосвала остаются $t_{пij}^э$, $t_{грi}$, $t_{порi}$ и $t_{приj}^с$.

Время, затрачиваемое j -м экскаватором на полную загрузку кузова i -го самосвала $t_{пij}^э$, как уже указывалось ранее, можно определить как произведение продолжительности одного рабочего цикла j -го экскаватора $t_{цj}^э$ на число ковшей j -го экскаватора, загружаемых в i -й самосвал для его полной загрузки, $n_{кij}$.

Время погрузки в абсолютном виде $t_{п}^э$ входит в функциональный критерий (2.4), а значит, в качестве единичного показателя использовано быть не может. А вот составляющие эту величину время цикла экскаватора $t_{ц}^э$ и число загружаемых ковшей $n_{к}$ должны стать предметом дальнейшего анализа.

Время цикла для данного экскаватора является фиксированной величиной, а вот в виде показателя производительности $E_{к}^э/t_{ц}^э$ может служить характеристикой экскаваторного парка ЭАК. Таким образом, в качестве первого показателя, характеризующего качество работы ЭАК, может быть выбран *показатель производительности экскаваторного парка ЭАК*:

$$\Pi^э = \frac{\widetilde{E}_{к}^э}{\widetilde{t}_{ц}^э}, \quad (2.10)$$

где $\widetilde{E}_{к}^э$, $\widetilde{t}_{ц}^э$ – средневзвешенные по экскаваторному парку разреза значения вместимости ковша (м^3) и времени цикла (мин) экскаватора соответственно.

Использование здесь и в дальнейшем средневзвешенных величин обусловлено тем, что парки экскаваторов и самосвалов на всех разрезах УК «Кузбассразрезуголь», как это видно из характеристики ЭАК разрезов (таблица 1.1), разномарочные (смешанные), а оценивать разрезы надо в целом.

Аналогичным показателем, характеризующим парк самосвалов разреза, является *показатель производительности автотранспортного парка* $\Pi^с$, который может быть принят в качестве второго показателя, характеризующего качество работы ЭАК:

$$\Pi^c = \frac{\widetilde{E}_k^c}{\widetilde{t}_p}, \quad (2.11)$$

где $\widetilde{E}_k^c$, $\widetilde{t}_p$ – средневзвешенные по автотранспортному парку ЭАК разреза вместимость кузова (м^3) и продолжительность рейса (мин) самосвала соответственно.

Взвешивание параметров, входящих в зависимости (2.10) и (2.11), производим по количеству рейсов, выполненных самосвалами определённых типов от соответствующих экскаваторов. Имеем:

$$\widetilde{E}_k^{\text{э}} = \frac{\sum_1^{n_j} E_{kj}^{\text{э}} \cdot n_{pj}}{\sum_1^{n_j} n_{pj}}; \quad \widetilde{t}_{\text{ц}}^{\text{э}} = \frac{\sum_1^{n_j} t_{\text{ц}j}^{\text{э}} \cdot n_{pj}}{\sum_1^{n_j} n_{pj}} - \quad (2.12)$$

для экскаваторного парка, и

$$\widetilde{E}_k^c = \frac{\sum_1^{n_i} E_{ki}^c \cdot n_{pi}}{\sum_1^{n_i} n_{pi}}; \quad \widetilde{t}_p = \frac{\sum_1^{n_j} t_{pj} \cdot n_{pj}}{\sum_1^{n_j} n_{pj}} - \quad (2.13)$$

для автотранспортного парка ЭАК.

В формулах (2.12) и (2.13):

$E_{kj}^{\text{э}}$ – вместимость ковша экскаватора j -го типоразмера, м^3 ;

$t_{\text{ц}j}^{\text{э}}$ – продолжительность цикла экскаватора j -го типоразмера, мин;

n_{pj} – количество рейсов, выполненных самосвалами от экскаватора j -го типоразмера;

n_j – количество типоразмеров экскаваторов в составе ЭАК;

E_{ki}^c – вместимость кузова самосвала i -го типоразмера, м^3 ;

t_{pj} – продолжительность рейса самосвала от экскаватора j -го типоразмера, мин;

n_{pi} – количество рейсов, выполненных самосвалами i -го типоразмера.

Парки экскаваторов и самосвалов с соответствующим прикреплением самосвалов к экскаваторам, данными по количеству рейсов и продолжительности рейса самосвалов приведены в сводных отчётах о работе ЭАК разрезов (таблицы 2.1–2.6).

Показателем, характеризующим соответствие экскаваторов и самосвалов друг другу, может служить число ковшей экскаватора, загружаемых в кузов самосвала для его полной загрузки, n_k .

Средневзвешенное число ковшей, загружаемых средневзвешенным экскаватором в средневзвешенный самосвал, определится как:

$$n_k = \frac{\widetilde{E}_k^c}{\widetilde{E}_k^э}. \quad (2.14)$$

Результаты расчётов средневзвешенных величин приведены в таблице 2.8.

Известно, что рациональное число загружаемых в кузов самосвала ковшей при оптимальных для карьерного автотранспорта расстояниях транспортирования до 5 км составляет 3–5. Однако если расстояния транспортирования превышают 5 км, рациональное число ковшей может быть и больше 5. А вот нижняя граница в 3 ковша является жёсткой, поскольку полная загрузка кузова лишь 1–2 ковшами приводит к сильным динамическим (ударным) нагрузкам на ходовую часть самосвала, что опасно из-за возможного выхода из строя (поломки) самосвала. Поэтому число ковшей в виде (2.14) в чистом виде не может служить показателем качества работы ЭАК, поскольку имеет ограничения по величине.

При наличии подобных ограничений, как уже указывалось ранее, в качестве единичного показателя рекомендуется принимать не абсолютное значение *числа ковшей* (2.14), а разность между ним и значением, ограничивающим уменьшение этого показателя [59], то есть в данном случае 3.

Исходя из этого, в качестве третьего показателя принимаем:

$$n'_k = n_k - 3. \quad (2.15)$$

Важнейшим показателем работы автотранспорта, определяющим характер движения его в гружёном ($t_{гр_i}$) и порожнем ($t_{пор_i}$) направлениях и продолжительность рейса самосвала, является скорость движения.

Применительно к карьерному автотранспорту важными являются техническая и эксплуатационная скорости движения.

Техническая скорость представляет собой отношение длины каждого характерного участка дороги (забойная, карьерная, траншейная, отвальная) к времени

Таблица 2.8 – Средневзвешенные показатели функционирования экскаваторного и автотранспортного парков разрезом

Объекты	Исходные данные					Результаты расчёта		
	Количество выполненных рейсов, n_p	Вместимость ковша экскаватора, $E_k^э$, м ³	Время цикла экскаватора, $t_{ц}$, мин	Вместимость кузова самосвала, $E_k^с$, м ³	Продолжительность рейса самосвала, t_p , мин	Показатель производительности экскаваторного парка, $\Pi^э$, м ³ /мин	Показатель производительности автотранспортного парка, $\Pi^с$, м ³ /мин	Количество загружаемых ковшей, n_k
Разрез «Кедровский»								
БелАЗ-75131 – ЭШ-10/70	101	10	1,05	71,17	14,7	9,523	4,853	7,1
БелАЗ-75306 – R 9200	145	16	0,45	129,8	29,1	35,556	4,458	8,1
БелАЗ-75306 – ЭКГ-10	111	10	0,433	129,8	31,1	23,095	4,174	13,0
БелАЗ-75306 – ЭКГ-12	119	12	0,433	129,8	29,6	27,714	4,378	10,8
БелАЗ-75306 – ЭКГ-15	200	15	0,433	129,8	29,5	34,642	4,399	8,7
БелАЗ-75306 – P&H-2800	388	33	0,533	129,8	27,5	61,914	4,719	3,9
Средневзвешенные величины по разрезу	1064	19,71	0,53	124,2	27,5	40,32	4,518	6,3
Разрез «Моховский»								
<i>Моховское поле</i>								
БелАЗ-75131 – R-984С	313	7	0,4	71,17	17,3	17,500	4,118	10,2
БелАЗ-75131 – ЭШ-13/50	127	13	0,933	71,17	18,5	13,934	3,848	5,5
Средневзвешенные величины по полю	440	9,12	0,554	71,17	17,6	16,47	4,036	7,8
<i>Сартакинское поле</i>								
БелАЗ-75131 – ЭКГ-10	180	10	0,433	71,17	16,6	23,095	4,284	7,1
БелАЗ-75131 – ЭКГ-12	196	12	0,433	71,17	16,1	27,714	4,432	5,9
БелАЗ-75131 – ЭКГ-8И	86	8	0,417	71,17	17,5	19,185	4,070	8,9
БелАЗ-75131 – ЭКГ-8УС	143	8	0,417	71,17	17,2	19,185	4,148	8,9
Средневзвешенные величины по полю	605	9,87	0,427	71,17	16,7	23,10	4,265	7,2

Продолжение таблицы 2.8

<i>Караканское поле</i>								
БелАЗ-75131 – ЭКГ-10	170	10	0,433	71,17	18,2	23,095	3,914	7,1
БелАЗ-75131 – R-994	296	13	0,467	71,17	17,6	27,837	4,048	5,5
БелАЗ-75131 – ЭШ-10/70	121	10	1,050	71,17	23,2	9,524	3,063	7,1
<i>Средневзвешенные величины по полю</i>	<i>587</i>	<i>11,51</i>	<i>0,584</i>	<i>71,17</i>	<i>18,9</i>	<i>22,63</i>	<i>3,764</i>	<i>6,2</i>
<i>Средневзвешенные величины по разрезу</i>	<i>1632</i>	<i>10,25</i>	<i>0,522</i>	<i>71,17</i>	<i>17,75</i>	<i>21,14</i>	<i>4,022</i>	<i>6,9</i>
Разрез «Бачатский»								
БелАЗ-75603 – P&H-4100ХРС	170	56	0,533	218	38,1	105,07	5,722	3,9
БелАЗ-75600 – P&H-4100ХРС	123	56	0,533	199	32,1	105,07	6,203	3,6
БелАЗ-75306 – ЭКГ-15	414	15	0,433	129,8	42,2	34,642	3,075	8,7
БелАЗ-75306 – ЭКГ-18	56	18	0,450	129,8	41,4	40	3,134	7,2
БелАЗ-75306 – P&H-2800	567	33	0,533	129,8	40,2	61,914	3,228	3,9
БелАЗ-75306 – WK-35	503	35	0,500	129,8	40,0	70	3,243	3,7
<i>Средневзвешенные величины по разрезу</i>	<i>1833</i>	<i>32,70</i>	<i>0,506</i>	<i>142,62</i>	<i>39,9</i>	<i>64,19</i>	<i>3,574</i>	<i>4,4</i>
Разрез «Краснобродский»								
<i>Вахрушевское поле</i>								
БелАЗ-75131 – R-984С	120	7	0,400	71,17	27,3	17,500	2,604	10,2
БелАЗ-75131 – ЭКГ-10	469	10	0,433	71,17	26,4	23,095	2,694	7,1
БелАЗ-75131 – ЭКГ-18Р	464	18	0,450	71,17	25,1	40	2,832	4,0
<i>Средневзвешенные величины по полю</i>	<i>1053</i>	<i>13,18</i>	<i>0,437</i>	<i>71,17</i>	<i>26,0</i>	<i>30,16</i>	<i>2,745</i>	<i>5,4</i>
<i>Краснобродское поле</i>								
БелАЗ-75306 – ЭКГ-10	142	10	0,433	129,8	37,4	23,095	3,470	13,0
БелАЗ-75306 – ЭКГ-12	435	12	0,433	129,8	35,9	27,714	3,616	10,8
БелАЗ-75306 – ЭКГ-32Р	341	32	0,500	129,8	33,7	64	3,846	4,1
БелАЗ-75306 – ЭКГ-35	394	35	0,533	129,8	33,8	65,666	3,838	3,7
БелАЗ-75306 – RH-120	231	16	0,483	129,8	35,7	33,126	3,640	8,1
БелАЗ-75306 – P&H-2800	433	33	0,533	129,8	33,7	61,914	3,846	3,9
БелАЗ-75306 – WK-35	489	35	0,500	129,8	33,6	70	3,668	3,7
<i>Средневзвешенные величины по полю</i>	<i>2465</i>	<i>25,53</i>	<i>0,494</i>	<i>129,8</i>	<i>34,5</i>	<i>51,68</i>	<i>3,768</i>	<i>5,1</i>
<i>Средневзвешенные величины по разрезу</i>	<i>3518</i>	<i>21,83</i>	<i>0,477</i>	<i>112,3</i>	<i>31,9</i>	<i>45,24</i>	<i>3,515</i>	<i>5,1</i>

Окончание таблицы 2.8

Разрез «Талдинский»								
<i>Талдинское поле</i>								
БелАЗ-75600–Р&Н-4100ХРС	113	56	0,533	199	33,1	105,07	6,018	3,6
БелАЗ-75306–Р&Н-4100ХРС	363	56	0,533	129,8	26,5	105,07	4,894	2,3
БелАЗ-75306 – ЭКГ-15	360	15	0,467	129,8	29,8	32,12	4,358	8,7
БелАЗ-75306 – ЭКГ-18	198	18	0,450	129,8	30,5	40	4,251	7,2
БелАЗ-75306 – WK-35	638	35	0,500	129,8	27,2	70	4,777	3,7
<i>Средневзвешенные величины по полю</i>	<i>1672</i>	<i>34,06</i>	<i>0,498</i>	<i>134,5</i>	<i>28,4</i>	<i>69,59</i>	<i>4,734</i>	<i>3,95</i>
<i>Таёжное поле</i>								
БелАЗ-75131 – ЭКГ-10	73	10	0,433	71,17	33,3	23,095	2,137	7,1
БелАЗ-75306 – ЭКГ-10	211	10	0,433	129,8	34,2	23,095	3,795	13,0
БелАЗ-75306 – ЭКГ-12	203	12	0,433	129,8	32,7	27,714	3,964	10,8
БелАЗ-75306 – ЭКГ-18	218	18	0,450	129,8	31,8	40	4,079	7,2
БелАЗ-75306 – R-994	190	13	0,467	129,8	32,8	27,837	3,953	10,0
<i>Средневзвешенные величины по полю</i>	<i>895</i>	<i>13,04</i>	<i>0,444</i>	<i>125,0</i>	<i>32,9</i>	<i>29,35</i>	<i>3,801</i>	<i>9,6</i>
<i>Ерунаковское поле</i>								
БелАЗ-75131 – РС 1250SP-7	232	6,5	0,433	71,17	24,5	15,012	2,905	10,9
БелАЗ-75131 – ЭКГ-18	573	18	0,450	71,17	21,8	40	3,262	4,0
<i>Средневзвешенные величины по полю</i>	<i>805</i>	<i>14,69</i>	<i>0,445</i>	<i>71,17</i>	<i>22,6</i>	<i>33,01</i>	<i>3,159</i>	<i>4,85</i>
<i>Средневзвешенные величины по разрезу</i>	<i>3372</i>	<i>24,15</i>	<i>0,481</i>	<i>116,9</i>	<i>28,2</i>	<i>50,18</i>	<i>4,142</i>	<i>4,8</i>
Разрез «Калтанский»								
<i>Калтанское поле</i>								
БелАЗ-75131 – R 9100	100	10	0,417	71,17	29,0	23,981	2,454	7,1
БелАЗ-75306 – ЭКГ-10	182	10	0,433	129,8	29,3	23,095	4,436	13,0
БелАЗ-75306 – ЭКГ-18	471	18	0,450	129,8	26,9	40	4,829	7,2
<i>Осинниковское поле</i>								
БелАЗ-75131 – ЭКГ-8И	170	8	0,417	71,17	30,1	19,185	2,363	8,9
БелАЗ-75131 – ЭКГ-10	98	10	0,433	71,17	29,6	23,095	2,407	7,1
БелАЗ-75306 – ЭКГ-10	122	10	0,433	129,8	27,3	23,095	4,746	13,0
БелАЗ-75306 – RH-90	98	10	0,417	129,8	27,2	23,981	4,767	13,0
<i>Средневзвешенные величины по разрезу</i>	<i>1241</i>	<i>12,76</i>	<i>0,437</i>	<i>112,4</i>	<i>28,1</i>	<i>29,20</i>	<i>3,997</i>	<i>8,8</i>

прохождения его автосамосвалом. Техническая скорость движения карьерного самосвала зависит не только от конструктивных качеств автомобиля, но и от условий эксплуатации (уклон дороги, сложность трассы, качество покрытия и интенсивность движения). Существенное влияние на скорость оказывают также степень изношенности самосвалов и квалификация водителей. Техническая скорость существенно различается в переходном (осенне-весеннем) и стабильном (летнем) периодах года из-за изменения состояния карьерных автодорог. Скорость движения в осенне-весенний период снижается на 15–20% [94].

Однако техническая скорость во всех случаях не учитывает простои техники, которые являются весьма значительными. Простои самосвалов в течение рабочей смены (суток) учитывает эксплуатационная скорость. Она определяется как общий пробег каждого самосвала за смену (сутки), отнесённый к её продолжительности (км/ч):

$$v_э = \frac{2L_{тр} \cdot n_p}{N_c \cdot T_{см}}, \quad (2.16)$$

где $L_{тр}$ – средневзвешенное расстояние транспортирования горной массы средневзвешенным по разрезу самосвалом, км;

n_p – количество рейсов, выполненных всеми самосвалами в течение рабочей смены (суток);

N_c – количество работавших самосвалов;

$T_{см}$ – продолжительность рабочей смены (суток), час.

Все составляющие зависимости (2.16) также приведены в сводных отчётах о работе ЭАК разрезов (таблицы 2.1–2.6).

Таким образом, в качестве четвёртого показателя качества принимаем *эксплуатационную скорость*, средневзвешенную для всего парка самосвалов ЭАК данного разреза, $v_э$.

Поскольку простои погрузочно-транспортной техники (экскаваторов и самосвалов), согласно функциональному критерию (2.4) через коэффициент эксплуатационной производительности ЭАК $k_{ЭАК}$ (2.3), оказывают существенное влияние на уровень качества работы карьерных ЭАК, то все показатели, так или

иначе связанные с простоями техники по разным причинам, должны быть включены в номенклатуру показателей качества работы ЭАК разрезов.

Как уже указывалось, все простои техники в ЭАК делятся на плановые и неплановые. Плановые простои регламентированы нормативными документами, неплановые – возникают исключительно по причине неудовлетворительного состояния парков экскаваторов и самосвалов и организации их работы. Простои в ожидании погрузки составляют 30–50% от всех простоев карьерных самосвалов в течение смены (суток). Если же учитывать и простои, связанные с поломками и ремонтом экскаваторов и самосвалов, то общие простои возрастают почти вдвое [7]. В УК «Кузбассразрезуголь» величина простоев в ожидании погрузки в рассматриваемый период колебалась от 25,8% на разрезе «Моховский» до 56,8% на разрезе «Калтанский», составляя в целом по Компании 38,7%. При этом доля общих простоев погрузочно-транспортной техники в ЭАК в продолжительности рабочей смены (суток) варьируется от 4,8% на разрезе «Краснобродский» до 16,7% на разрезе «Кедровский», составляя в целом по Компании 9,4% (таблицы 2.1-2.7).

Ввиду того, что простои погрузочно-транспортной техники при работе ЭАК на разрезах Кузбасса достаточно велики, важным показателем качества работы ЭАК является доля суммарных простоев экскаваторов и самосвалов (включая простои в ожидании) в суммарной продолжительности всех рейсов рабочей смены в расчёте на один самосвал (фактической продолжительности смены с учётом всех перерывов в работе):

$$k_{\text{пр}}^{\Sigma} = \frac{\sum_1^{N_{\text{э}}} t_{\text{пр}}^{\text{э}} + \sum_1^{N_{\text{с}}} (t_{\text{пр}}^{\text{с}} + t_{\text{пр}}^{\text{с о ж}})}{T_{\text{см}}}. \quad (2.17)$$

Доля простоев техники в течение рабочей смены $k_{\text{пр}}^{\Sigma}$ будет пятым показателем качества работы ЭАК. Данные для определения показателя также приведены в сводных отчётах о работе ЭАК (таблицы 2.1–2.7).

Не менее важным является соотношение простоев экскаваторов и самосвалов. Обычно на предприятиях стремятся максимально уменьшить простои экскаваторов в ожидании работы даже за счёт введения в число работающих самосвалов дополнительных машин, что увеличивает простои самосвалов в ожидании по-

грузки. Связано это со значительно более высокой стоимостью простоев более дорогих экскаваторов по сравнению с простоями самосвалов. В работе [7] приводятся данные по стоимости 1 часа простоев экскаваторов P&H-2800 (136,7 тыс. руб.), ЭКГ-15 (70,8 тыс. руб.), ЭКГ-12ус (53,3 тыс. руб.) и самосвалов БелАЗ-75306 (17,5 тыс. руб.) на разрезе «Кедровский». То есть стоимость простоев отечественных экскаваторов средней мощности в 3–4 раза выше, чем самосвалов, а мощных зарубежных экскаваторов – в 8–10 раз.

Однако если даже удастся сократить простои экскаваторов в ожидании работы, простои их по другим причинам всё равно остаются большими (таблицы 2.1–2.7). Учитывая важность этого вопроса, введём в номенклатуру показателей качества работы ЭАК ещё один, шестой, показатель, отражающий *соотношение простоев экскаваторов и самосвалов*:

$$k_{\text{пр}}^{\text{э-с}} = \frac{\sum_1^{N_{\text{э}}} t_{\text{пр}}^{\text{э}}}{\sum_1^{N_{\text{с}}} (t_{\text{пр}}^{\text{с}} + t_{\text{пр}}^{\text{с ож}})}. \quad (2.18)$$

Простои характеризуют непроизводительное использование техники и должны быть сведены к минимуму. Как уже указывалось в пункте 1.1, заметных достижений в области организации производства, направленных на сокращение простоев оборудования, нет. Коэффициент использования экскаваторов на большинстве карьеров составляет не более 0,5–0,6 [7, 9].

На разрезах Кузбасса традиционно используется «закрытый цикл» работы погрузочно-транспортного оборудования с жёстким закреплением каждого самосвала за конкретным экскаватором и отвалом, и так они работают в течение всей смены. Самосвалы перераспределяются только в случае изменения горнотехнических условий (например, при выходе из строя экскаватора). Оптимизация ЭАК при работе по «закрытому циклу» заключается в определении оптимального количества самосвалов на каждый конкретный экскаватор [36, 96, 97]. Эффективной такая система может быть только тогда, когда экскаваторы работают непрерывно, а самосвалы подаются под погрузку в нужное время. Однако техника не может работать по жёсткому алгоритму из-за влияния указанных выше непрогнозируемых и субъективных факторов [98–100].

В соответствии с вышесказанным, в номенклатуру необходимо включить ещё два показателя, отражающих *соотношение времени работы и простоев экскаваторного и автотранспортного парков в течение рабочей смены (суток)*:

$$k_p^э = \frac{t_{\text{п}}^э}{t_{\text{пп}}^э}; \quad (2.19)$$

$$k_p^с = \frac{t_p - t_{\text{пп}}^{с\text{ож}}}{t_{\text{пп}}^с + t_{\text{пп}}^{с\text{ож}}}, \quad (2.20)$$

где $t_{\text{п}}^э$ – время загрузки самосвала экскаватором (работа экскаватора), мин;

$t_{\text{пп}}^э$ – время простоя экскаваторов, мин;

$t_{\text{пп}}^с$ – время простоя самосвалов без учёта простоя в ожидании погрузки $t_{\text{пп}}^{с\text{ож}}$, мин;

t_p – продолжительность рейса самосвалов с учётом простоя в ожидании погрузки $t_{\text{пп}}^{с\text{ож}}$, мин.

Все временные характеристики в формулах (2.19) и (2.20) принимаются в расчёте на один рейс и тоже приведены в сводных отчётах о работе ЭАК (таблицы 2.1–2.7).

Коэффициенты $k_p^э$ и $k_p^с$ являются, таким образом, седьмым и восьмым показателями качества функционирования ЭАК.

Все рассмотренные показатели можно разделить на четыре группы:

– показатели состава, структуры и соответствия друг другу парков погрузочно-транспортной техники (k'_N , n'_K);

– показатели производительности парков техники ($\Pi^э$, $\Pi^с$ – потенциальной; $\vartheta_э$ – фактической);

– показатели величины и структуры простоев ($k_{\text{пп}}^{\Sigma}$ и $k_{\text{пп}}^{э-с}$);

– показатели производительного использования парков техники в течение смены ($k_p^э$ и $k_p^с$).

Из квалиметрии известно, что важнейшим требованием к единичным показателям качества является их независимость [60, 61]. Проверка выбранных показателей на взаимосвязь показала, что зависимыми друг от друга являются только

два показателя – показатель производительности экскаваторного парка $P^э$ (2.10) и показатель соответствия парков $n'_к$ (2.15). Связь между ними может быть объяснена тем, что все входящие в обе формулы величины являются фиксированными по величине параметрами экскаваторов и самосвалов, внесёнными в их техническую характеристику.

Зависимость между $n'_к$ и $P^э$ получена в результате статистической обработки соответствующих данных по разрезам, приведённых в таблице 2.8. Результаты представлены в таблице 3.1.

Из двух взаимозависимых показателей $n'_к$ и $P^э$ для оценки качества работы ЭАК достаточно выбрать один. Целесообразно оставить показатель $P^э$, поскольку он будет часто использоваться в дальнейших исследованиях.

Связи показателей $P^э$ и $P^с$, а также $P^с$ и $n'_к$, вопреки ожиданиям, не установлено. Причина – в формулу (2.11) для определения $P^с$ входит один параметр – продолжительность рейса t_p , являющийся чисто эксплуатационным, зависящим не только от характеристики машин (экскаваторов и самосвалов), но в большей степени от результатов их совместной работы.

Таким образом, из восьми показателей, выбранных для оценки качества функционирования ЭАК, после проверки на взаимозависимость остаётся семь, а именно:

– *показатель производительности экскаваторного парка ЭАК, $P^э$, м³/мин.* Поскольку качество улучшается с увеличением показателя, то в соответствии с принципами квалиметрии [69], *первым* единичным показателем должна быть обратная величина – $1/P^э$;

– *показатель производительности автотранспортного парка ЭАК, $P^с$, м³/мин.* Принимаем в качестве *второго* единичного показателя обратную величину – $1/P^с$ – по той же причине;

– *эксплуатационная скорость самосвалов, $v_э$, км/ч.* В качестве *третьего* единичного показателя также принимается обратная величина – $1/v_э$;

- доля простоев техники в продолжительности рабочей смены, $k_{\text{пр}}^{\Sigma}$. Поскольку качество улучшается с уменьшением показателя, в качестве *четвёртого* единичного показателя должна быть принята абсолютная величина – $k_{\text{пр}}^{\Sigma}$;
- соотношение простоев экскаваторов и самосвалов, $k_{\text{пр}}^{\Sigma-c}$. По той же причине в качестве *пятого* единичного показателя принимается абсолютная величина – $k_{\text{пр}}^{\Sigma-c}$;
- уровень производительного использования экскаваторного парка ЭАК, k_p^{Σ} . Поскольку качество улучшается с увеличением показателя, в качестве *шестого* единичного показателя должна быть принята обратная величина – $1/k_p^{\Sigma}$;
- уровень производительного использования автотранспортного парка ЭАК, k_p^c . По аналогии с предыдущим в качестве *седьмого* единичного показателя принимаем обратную величину – $1/k_p^c$.

Схема комплекса показателей качества работы ЭАК разреза приведена на рисунке 2.1. Они показаны жирным шрифтом и красным цветом.

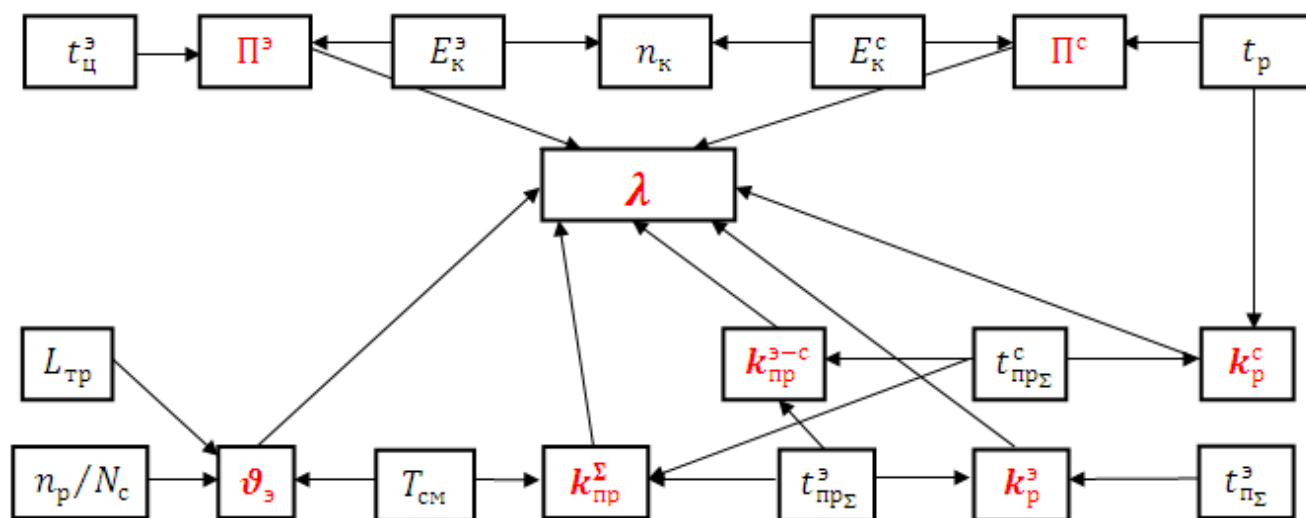


Рисунок 2.1 – Комплекс показателей качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов

λ – функциональный критерий; П^{Σ} – показатель производительности экскаваторного парка; П^c – показатель производительности автотранспортного парка; θ_{Σ} – эксплуатационная скорость самосвалов; $k_{\text{пр}}^{\Sigma}$ – доля простоев техники в продолжительности рабочей смены; $k_{\text{пр}}^{\Sigma-c}$ – соотношение простоев экскаваторов и самосвалов; k_p^{Σ} – уровень производительного использования экскаваторного парка; k_p^c – уровень производительного ис-

пользования автотранспортного парка; E_k^3 – вместимость ковша экскаватора; $t_{ц}^3$ – время цикла экскаватора; E_k^c – вместимость кузова самосвала; t_p – продолжительность рейса самосвала; n_k – количество загружаемых в кузов самосвала ковшей экскаватора; $L_{тр}$ – расстояние транспортирования; $T_{см}$ – продолжительность рабочей смены; n_p/N_c – количество рейсов, выполненных одним самосвалом в течение смены; n_p – количество рейсов, выполненных автотранспортным парком в течение смены; N_c – число самосвалов в составе автотранспортного парка; $t_{п\sum}^3$ – суммарное время загрузки самосвалов экскаваторами в течение смены; $t_{п\sum}^3$ – суммарные простои экскаваторного парка в течение смены; $t_{п\sum}^c$ – суммарные простои автотранспортного парка в течение смены

Оценка качества работы ЭАК производится по формулам методики Г.И. Солода [58, 60]. Окончательная зависимость для определения комплексного показателя качества работы ЭАК разреза имеет вид:

$$k_m = \frac{1}{(n-1) \sum_1^N q_{mn}} \sqrt{n \sum_1^N [q_{mn} (\sum_1^N q_{mn} - q_{mn})]^2},$$

где n – количество единичных показателей качества;

N – число рассматриваемых разрезов;

q_{mn} – уровень качества по каждому единичному показателю на каждом разрезе.

Обоснование показателей качества функционирования экскаваторно-автомобильного комплекса разрезов приведено в работе автора [101].

2.4 Оценка качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов УК «Кузбассразрезуголь»

Оценка качества работы ЭАК действующих разрезов, входящих в состав УК «Кузбассразрезуголь», производится при следующих условиях.

Базой для исследований являются сводные отчёты о работе ЭАК разрезов и в целом по Компании, включающие фактические данные в рассматриваемый период эксплуатации, представленные в таблицах 2.1–2.7. Отдельно рассматривался также переходный (осенне-весенний) период года, когда, как указывается в работе [94], скорость движения самосвалов снижается на 15–20% (в расчётах принято 15%). Это приводит к увеличению времени пробега самосвалов в грузёном $t_{гр}$ и

порожном $t_{\text{пор}}$ направлениях, продолжительности рейса $t_{\text{р}}$. Для того чтобы обеспечить запланированные объёмы погрузки и перевозок и необходимое для этого количество рейсов, экскаваторы и самосвалы должны работать дольше. Следовательно, увеличится продолжительность рабочей смены (суток) $T_{\text{см}}$. Для определения влияния только условий осенне-весеннего периода на работу ЭАК все остальные показатели этой работы оставляем без изменений. Таким образом, при рассмотрении осенне-весеннего периода в сводных отчётах о работе ЭАК разрезов и Компании в целом (таблицы 2.1–2.7) изменятся столбцы $t_{\text{гр}}$, $t_{\text{пор}}$ на 15% в сторону увеличения, а также соответственно изменятся столбцы $t_{\text{р}}$ и $(t_{\text{р}} + t_{\text{пр}}^T)$ [102, 103].

В общей сложности к рассмотрению приняты сводные отчёты о работе ЭАК шести разрезов, входящих в состав УК «Кузбассразрезуголь», в летний период, а также сводные отчёты о работе ЭАК в осенне-весенний период, полученные путём пересчёта указанных выше величин для летнего периода. Сводный отчёт о работе ЭАК разрезов и УК «Кузбассразрезуголь» в целом в осенне-весенний период, полученный после пересчёта данных таблицы 2.7, приведён в таблице 2.9.

Функциональный критерий рассчитывался по формулам (2.4) – (2.9). Результаты расчётов сведены в таблицу 2.10.

Показатели производительности экскаваторного $\Pi^{\text{э}}$ и автотранспортного $\Pi^{\text{с}}$ парков ЭАК определялась по формулам (2.10) и (2.11); эксплуатационная скорость $\vartheta_{\text{э}}$ самосвалов в составе автотранспортного парка ЭАК – по формуле (2.16); доля простоев погрузочно-транспортной техники ЭАК в продолжительности рабочей смены (суток) $k_{\text{пр}}^{\Sigma}$ – по формуле (2.17); соотношение простоев экскаваторного и автотранспортного парков ЭАК $k_{\text{пр}}^{\text{э-с}}$ – по формуле (2.18); показатели производительного использования экскаваторного $k_{\text{р}}^{\text{э}}$ и автотранспортного $k_{\text{р}}^{\text{с}}$ парков ЭАК в течение рабочей смены (суток) – по формулам (2.19) и (2.20) соответственно [102].

Результаты расчётов сведены в таблицу 2.11.

Таблица 2.9 – Сводный отчёт о работе экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов и УК «Кузбассразрезуголь»
(осенне-весенний период)

Показатели	Общие внутрисменные простой техники, $t_{пр}^T$, мин	Простой самосвалов, $t_{пр}^с$, мин	Простой экскаваторов, $t_{пр}^э$, мин	Время погрузки, $t_{п}^э$, мин	Расстояние транспортирования, $L_{тр}$, км	Время гружёного пробега, $t_{тр}$, мин	Время разгрузки, $t_{разгр}$, мин	Время порожнего пробега, $t_{пор}$, мин	Продолжительность рейса, t_r , мин	в том числе: простои в ожидании погрузки, $t_{ож}^{с.ож}$, мин	Время рейса с учётом простоев техники, $(t_p + t_{пр}^T)$, мин
Разрез «Кедровский»											
По разрезу, в том числе:	4819,8	2125,8	2694,0	4003,7	3713,8	15530,5	874,1	11515,0	32784,3	861,0	37604,1
– на 1 самосвал (31 ед.)	155,5	68,6	86,9	129,2	119,8	501,0	28,2	371,45	1057,6	27,8	1213,0
– на 1 рейс (1064 рейса)	4,5	2,0	2,5	3,8	3,5	14,6	0,8	10,8	30,8	0,8	(20,2 ч.)
$k_{ЭАК} = 0,898$								$\lambda = 0,527$			
Разрез «Моховский»											
По разрезу, в том числе:	4874,4	1022,4	3852,0	6041,2	3361,2	13384,5	1530,4	10803,9	32115,2	355,2	36989,6
– на 1 самосвал (28 ед.)	174,1	36,5	137,6	215,8	120,0	478,0	54,7	385,9	1147,0	12,7	1321,05
– на 1 рейс (1632 рейса)	3,0	0,6	2,4	3,7	2,1	8,2	0,9	6,6	19,7	0,2	(21,0 ч.)
$k_{ЭАК} = 0,903$								$\lambda = 0,583$			
Разрез «Бачатский»											
По разрезу, в том числе:	7114,2	5620,2	1494,0	4527,5	10611	42189,8	1689,6	32159,6	82839,9	2273,4	89954,1
– на 1 самосвал (67 ед.)	106,2	83,9	22,3	67,6	158,4	629,7	25,2	480,0	1236,4	33,9	1342,6
– на 1 рейс (1833 рейса)	3,9	3,1	0,8	2,5	5,8	23,0	0,9	17,5	45,2	1,2	(21,0 ч.)
$k_{ЭАК} = 0,930$								$\lambda = 0,437$			

Продолжение таблицы 2.9

Разрез «Краснобродский»											
По разрезу, в том числе:	4209,4	1947,4	2262,0	9566,9	16182	64396,2	2880,4	48958,5	127133,4	1331,4	131342,8
– на 1 самосвал (93 ед.)	45,3	20,9	24,3	102,9	174,0	692,4	31,0	526,4	1367,0	14,3	1412,3
– на 1 рейс (3518 рейсов)	1,2	0,6	0,6	2,7	4,6	18,3	0,8	13,9	36,1	0,4	(21,0 ч.)
$k_{\text{ЭАК}} = 0,972$								$\lambda = 0,600$			
Разрез «Талдинский»											
По разрезу, в том числе:	6376,2	2818,2	3558,0	9749,6	13072	51775,1	2760,5	39452,9	107024,9	3286,8	113401,1
– на 1 самосвал (91 ед.)	70,1	31,0	39,1	107,1	143,6	569,0	30,3	433,55	1176,1	36,1	1246,2
– на 1 рейс (3372 рейса)	1,9	0,8	1,1	2,9	3,9	15,4	0,8	11,7	31,7	1,0	(20,8 ч.)
$k_{\text{ЭАК}} = 0,951$								$\lambda = 0,623$			
Разрез «Калтанский»											
По разрезу, в том числе:	1741,2	457,2	1470,6	4447,9	4721,5	18724,4	1090,8	14374,8	39225,3	587,4	40966,5
– на 1 самосвал (31 ед.)	56,2	14,8	47,4	143,5	152,3	604,0	35,2	463,7	1265,3	19,0	1321,5
– на 1 рейс (1241 рейс)	1,4	0,4	1,2	3,6	3,8	15,1	0,9	11,6	31,6	0,5	(21,0 ч.)
$k_{\text{ЭАК}} = 0,968$								$\lambda = 0,363$			
Угольная компания «Кузбассразрезуголь»											
По Компании, в т. ч.:	29135	13991	15331	38337	51661,5	206000,5	10825,8	157264,7	421123	8695,2	450258,2
– на 1 самосвал (341 ед.)	85,4	41,0	45,0	112,4	151,5	604,1	31,7	461,2	1235,0	25,5	1320,4
– на 1 рейс (12660 рейсов)	2,3	1,1	1,2	3,0	4,1	16,3	0,9	12,4	33,3	0,7	(21,0 ч.)
$k_{\text{ЭАК}} = 0,945$								$\lambda = 0,521$			

Таблица 2.10 – Формирование функционального критерия оценки качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов

Показатели	Разрезы					
	Кедровский	Моховский	Бачатский	Краснобродский	Талдинский	Калтанский
Исходные данные для расчёта (таблицы 2.1-2.7)						
N_c , ед.	31	28	67	93	91	31
$N_{\text{э}}$, ед.	8	10	9	12	14	10
$\frac{N_{\text{э}}}{t_n^{\text{э}}} = \sum_1^{N_{\text{э}}} \left[\frac{N_{\text{э}j}}{\sum_1^{N_c} (t_{nij}^{\text{э}} \cdot N_{ci})} \right]$, мин ⁻¹	2,1	2,7	3,6	4,4	4,8	2,8
$t_p = \sum_1^{N_c} (t_{pi} \cdot N_{ci}) / N_c$, мин	$\frac{27,5}{30,8}$	$\frac{17,7}{19,7}$	$\frac{39,9}{45,2}$	$\frac{31,9}{36,1}$	$\frac{28,2}{30,7}$	$\frac{28,1}{31,6}$
$\sum_1^{N_{\text{э}}} t_{\text{пр}}^{\text{э}}$, мин	2694,0	3852,0	1494,0	2262,0	3558,0	1470,6
$\sum_1^{N_c} t_{\text{пр}}^c$, мин	2125,8	1022,4	5620,2	1947,0	2818,2	457,2
$T_{\text{см}}$, мин	$\frac{1099,2}{1213,0}$	$\frac{1208,4}{1321,1}$	$\frac{1197,9}{1342,6}$	$\frac{1253,3}{1412,3}$	$\frac{1115,4}{1246,2}$	$\frac{1182,2}{1321,5}$
Результаты расчёта						
$t_{\text{п}}^{\text{э}}$, мин	3,8	3,7	2,5	2,7	2,9	3,6
$k_{\text{ЭАК}}$	$\frac{0,888}{0,898}$	$\frac{0,894}{0,903}$	$\frac{0,922}{0,930}$	$\frac{0,968}{0,972}$	$\frac{0,946}{0,951}$	$\frac{0,964}{0,968}$
λ	$\frac{0,597}{0,527}$	$\frac{0,653}{0,583}$	$\frac{0,500}{0,437}$	$\frac{0,682}{0,600}$	$\frac{0,704}{0,623}$	$\frac{0,410}{0,363}$

Примечание. Здесь и далее: в числителе – показатели работы ЭАК в летний период года; в знаменателе – в осенне-весенний.

Таблица 2.11 – Исходные расчётные показатели работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов

Показатели	Разрезы					
	Кедровский	Моховский	Бачатский	Краснобродский	Талдинский	Калтанский
1. Показатель производительности экскаваторного парка, $\Pi^э$, м ³ /мин	40,32	21,14	64,19	45,24	50,18	29,20
2. Показатель производительности автотранспортного парка, $\Pi^с$, м ³ /мин	$\frac{4,518}{4,032}$	$\frac{4,022}{3,618}$	$\frac{3,574}{3,156}$	$\frac{3,515}{3,139}$	$\frac{4,142}{3,686}$	$\frac{3,996}{3,556}$
3. Эксплуатационная скорость самосвалов автотранспортного парка в течение смены, $\vartheta_{э}$, км/ч	$\frac{13,08}{11,85}$	$\frac{11,92}{10,91}$	$\frac{15,87}{14,16}$	$\frac{16,66}{14,94}$	$\frac{15,47}{13,84}$	$\frac{15,44}{13,81}$
4. Доля простоев техники в продолжительности рабочей смены, $k_{пр}^{\Sigma}$	$\frac{0,167}{0,151}$	$\frac{0,155}{0,141}$	$\frac{0,117}{0,104}$	$\frac{0,0476}{0,0426}$	$\frac{0,0952}{0,0852}$	$\frac{0,0636}{0,0569}$
5. Соотношение простоев экскаваторов и самосвалов, $k_{пр}^{э-с}$	0,902	2,796	0,189	0,690	0,583	1,409
6. Соотношение времени работы и простоев (показатель производительного использования) экскаваторного парка, $k_p^э$	1,486	1,569	3,031	4,229	2,740	3,024
7. Соотношение времени работы и простоев (показатель производительного использования) автотранспортного парка, $k_p^с$	$\frac{9,508}{10,69}$	$\frac{20,77}{23,06}$	$\frac{8,980}{10,21}$	$\frac{33,86}{37,96}$	$\frac{15,04}{16,99}$	$\frac{32,88}{37,02}$

Далее согласно методике по данным таблиц 2.10 и 2.11 определяются удельные значения показателей качества работы ЭАК разрезов УК «Кузбассразреуголь» (они приведены в таблице 2.12), из которых выбираются базовые (минимальные) показатели эталонного разреза.

Поскольку производится сравнение осенне-весеннего периода с летним, в качестве базы для оценки осенне-весеннего периода должны быть приняты значения для летнего периода. Они выделены в таблице 2.12 жирным шрифтом.

Таблица 2.12 – Удельные показатели качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов

Показатели		Разрезы					
		Кедровский	Моховский	Бачатский	Краснобродский	Талдинский	Калтанский
Функциональный критерий, λ		<u>0,597</u> 0,527	<u>0,653</u> 0,583	<u>0,500</u> 0,437	<u>0,682</u> 0,600	<u>0,704</u> 0,623	<u>0,410</u> 0,363
Удельные показатели	$10/\Pi^3 \cdot \lambda$	<u>0,415</u> 0,471	<u>0,724</u> 0,811	<u>0,312</u> 0,356	<u>0,324</u> 0,368	<u>0,283</u> 0,320	<u>0,835</u> 0,943
	$1/\Pi^c \cdot \lambda$	<u>0,371</u> 0,471	<u>0,381</u> 0,474	<u>0,560</u> 0,725	<u>0,417</u> 0,531	<u>0,343</u> 0,495	<u>0,610</u> 0,774
	$10/\vartheta_3 \cdot \lambda$	<u>1,281</u> 1,601	<u>1,285</u> 1,572	<u>1,260</u> 1,616	<u>0,880</u> 1,116	<u>0,918</u> 1,160	<u>1,580</u> 1,995
	$k_{\text{пр}}^{\Sigma}/\lambda$	<u>0,280</u> 0,287	<u>0,237</u> 0,242	<u>0,234</u> 0,238	<u>0,070</u> 0,071	<u>0,135</u> 0,137	<u>0,155</u> 0,157
	$k_{\text{пр}}^{\text{э-с}}/\lambda$	<u>1,511</u> 1,712	<u>4,282</u> 4,796	<u>0,378</u> 0,432	<u>1,012</u> 1,150	<u>0,828</u> 0,936	<u>3,437</u> 3,882
	$1/k_p^{\text{э}} \cdot \lambda$	<u>1,127</u> 1,277	<u>0,976</u> 1,093	<u>0,660</u> 0,755	<u>0,347</u> 0,394	<u>0,518</u> 0,586	<u>0,807</u> 0,911
	$10/k_p^c \cdot \lambda$	<u>1,762</u> 1,775	<u>0,737</u> 0,744	<u>2,227</u> 2,241	<u>0,433</u> 0,439	<u>0,944</u> 0,945	<u>0,742</u> 0,744

С использованием данного эталона производится расчёт единичных q_{mn} и комплексного k_m показателей качества работы ЭАК разрезов по соответствующим формулам. Результаты расчёта представлены в таблице 2.13. При этом в таблице разрезы ранжированы по комплексному показателю.

Таблица 2.13 – Единичные и комплексные показатели качества работы экскаваторно-автомобильного комплекса

Показатели		Разрезы					
		Краснобродский	Талдинский	Бачатский	Кедровский	Моховский	Калтанский
Единичные показатели	$q_1(\Pi^3)$	$\frac{0,873}{0,769}$	$\frac{1,0}{0,884}$	$\frac{0,907}{0,795}$	$\frac{0,682}{0,601}$	$\frac{0,391}{0,349}$	$\frac{0,339}{0,300}$
	$q_2(\Pi^c)$	$\frac{0,823}{0,646}$	$\frac{1,0}{0,789}$	$\frac{0,613}{0,473}$	$\frac{0,925}{0,728}$	$\frac{0,900}{0,724}$	$\frac{0,562}{0,443}$
	$q_3(\vartheta_3)$	$\frac{1,0}{0,789}$	$\frac{0,959}{0,750}$	$\frac{0,698}{0,545}$	$\frac{0,687}{0,550}$	$\frac{0,685}{0,560}$	$\frac{0,557}{0,441}$
	$q_4(k_{\text{пр}}^{\Sigma})$	$\frac{1,0}{0,986}$	$\frac{0,519}{0,511}$	$\frac{0,299}{0,294}$	$\frac{0,250}{0,244}$	$\frac{0,295}{0,289}$	$\frac{0,452}{0,446}$
	$q_5(k_{\text{пр}}^{\text{э-с}})$	$\frac{0,374}{0,329}$	$\frac{0,457}{0,404}$	$\frac{1,0}{0,875}$	$\frac{0,250}{0,221}$	$\frac{0,088}{0,079}$	$\frac{0,110}{0,097}$
	$q_6(k_p^{\text{э}})$	$\frac{1,0}{0,881}$	$\frac{0,670}{0,592}$	$\frac{0,526}{0,460}$	$\frac{0,308}{0,272}$	$\frac{0,356}{0,317}$	$\frac{0,430}{0,381}$
	$q_7(k_p^c)$	$\frac{1,0}{0,986}$	$\frac{0,459}{0,458}$	$\frac{0,194}{0,193}$	$\frac{0,246}{0,244}$	$\frac{0,588}{0,592}$	$\frac{0,584}{0,582}$
Комплексные показатели	k_m	$\frac{0,879}{0,782}$	$\frac{0,737}{0,636}$	$\frac{0,626}{0,536}$	$\frac{0,499}{0,423}$	$\frac{0,494}{0,434}$	$\frac{0,446}{0,395}$

Анализ результатов расчёта показателей качества работы ЭАК разрезов удобно производить с помощью диаграмм, представленных на рисунках 2.3–2.6.

На лучах диаграмм отложены отрезки, равные величине показателей разреза-эталона (рисунки 2.3–2.5) или единичного показателя-эталона (рисунок 2.6), для которых все значения соответствующих показателей равны единице. Цифры у концов векторов равны номеру разреза или единичного показателя. Меньший многоугольник построен на концах отрезков, равных среднему значению данного единичного показателя по всем разрезам (в целом по Компании) или соответствующим единичным показателям. Если величина показателя меньше этого значения, можно говорить о неблагополучии у разреза с соответствующим показателем. Соединив концы отрезков для оцениваемых разрезов или единичных показателей, получим многоугольник, размеры которого в некоторой степени отражают уровень качества работы ЭАК конкретного разреза [67].

На рисунке 2.3 показана сравнительная интегральная оценка качества работы ЭАК в летний и переходный (осенне-весенний) период года.

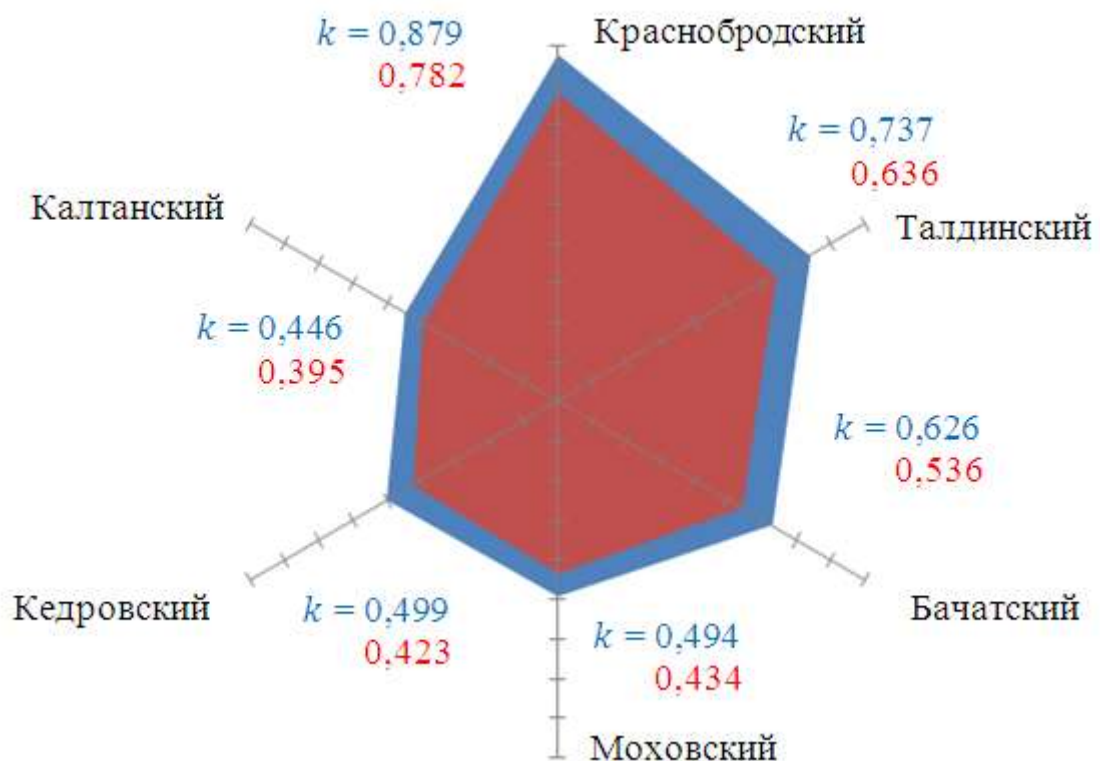


Рисунок 2.3 – Диаграммы комплексного показателя качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов (синим цветом – в летний период года; красным – в осенне-весенний)

Анализ показывает, что ЭАК всех разрезов в летний период работают в целом на 12,8% лучше, чем в осенне-весенний [103].

Общий анализ комплексного показателя качества работы ЭАК разрезов Компании в летний период показывает, что у трёх из шести разрезов он выше значения 0,5, и у двух – приближается к этому значению (рисунок 2.4).

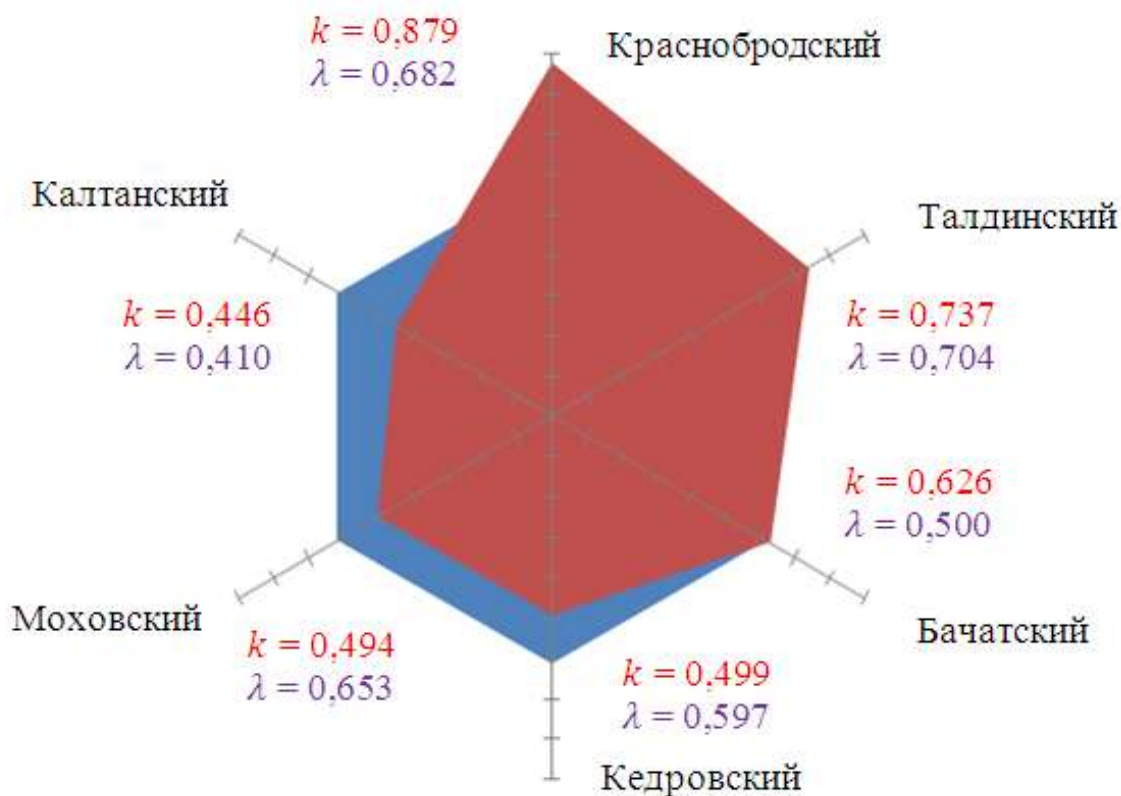


Рисунок 2.4 – Диаграммы комплексного показателя качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов в летний период (синим цветом – в целом по УК «Кузбассразрезуголь»; $k^{КУ} = 0,614$)

Это свидетельствует об общем невысоком качестве работы ЭАК на разрезах. Заметно отстаёт только один разрез – «Калтанский». Причина – низкий уровень производительности экскаваторного парка ($\Pi^э = 29,2 \text{ м}^3/\text{мин}$; таблица 2.9). Это требует небольшого количества обслуживающих их самосвалов, в результате чего значение $k'_N = N_c/N_э$ составляет всего 3,10, а оно напрямую определяет функциональный критерий λ . И он у ЭАК разреза «Калтанский» имеет наименьшее из всех значение ($\lambda = 0,410$).

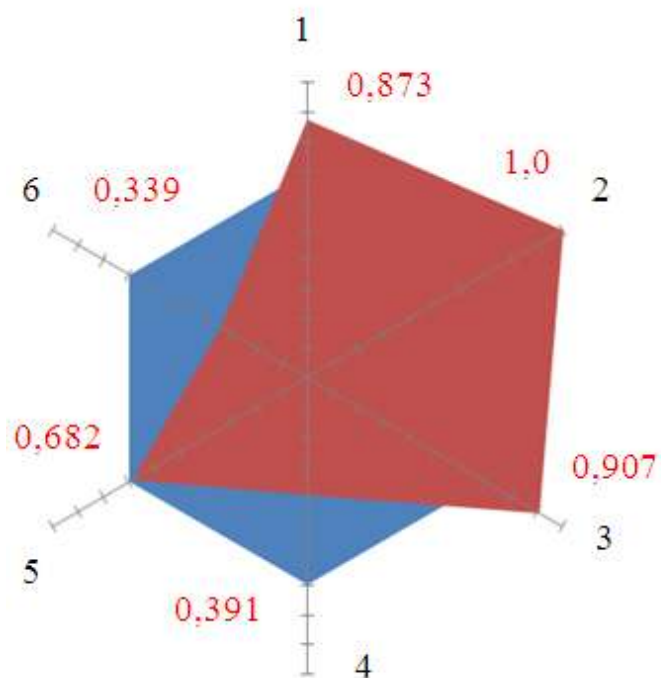
Средний уровень качества работы ЭАК разрезов (уровень качества работы ЭАК в целом по Компании) составляет $k^{КРУ} = 0,614$. Поэтому дальнейший анализ будем производить в сравнении с этим значением. Сравнение комплексного показателя качества работы ЭАК разрезов с общим по КРУ показывает, что у трёх разрезов («Краснобродский», «Талдинский» и «Бачатский») он выше среднего значения, и у трёх («Моховский», «Кедровский» и «Калтанский») – ниже. Причина высокого уровня качества у первых трёх разрезов и низкого у последних – та же, что и в предыдущем случае. Разрез «Краснобродский» является эталонным по четырём из семи единичных показателей качества (эксплуатационная скорость самосвалов v_3 , доля времени простоев в продолжительности смены $k_{пр}^{\Sigma}$, показатели производительного использования экскаваторного k_p^3 и автотранспортного k_p^c парков), в результате чего он и занимает 1-е место в ранжированном списке ($k = 0,879$). Разрез «Талдинский» является первым по двум единичным показателям (показатели производительности экскаваторного P^3 и автотранспортного P^c парков) и со значением $k = 0,737$ занимает 2-е место. И завершает тройку лидеров разрез «Бачатский», который является лучшим по одному единичному показателю, отражающему соотношение простоев экскаваторов и самосвалов ($k_{пр}^{3-c}$). Разрез «Бачатский» ($k = 0,626$) мог бы иметь и лучшие показатели, однако слишком большое расстояние транспортирования ($L_{тр} = 5,79$ км), а значит, продолжительность рейса t_p и низкий функциональный критерий ($\lambda = 0,500$) сводит на нет его преимущества по другим значимым показателям.

Для определения основных направлений повышения качества работы ЭАК на рисунках 2.5 и 2.6 представлены диаграммы по единичным показателям для разрезов УК «Кузбассразрезуголь». Цифрами на диаграммах обозначены разрезы (рисунок 2.5) и единичные показатели (рисунок 2.6), ранжированные по комплексному показателю качества k , как и на рисунках 2.3–2.4.

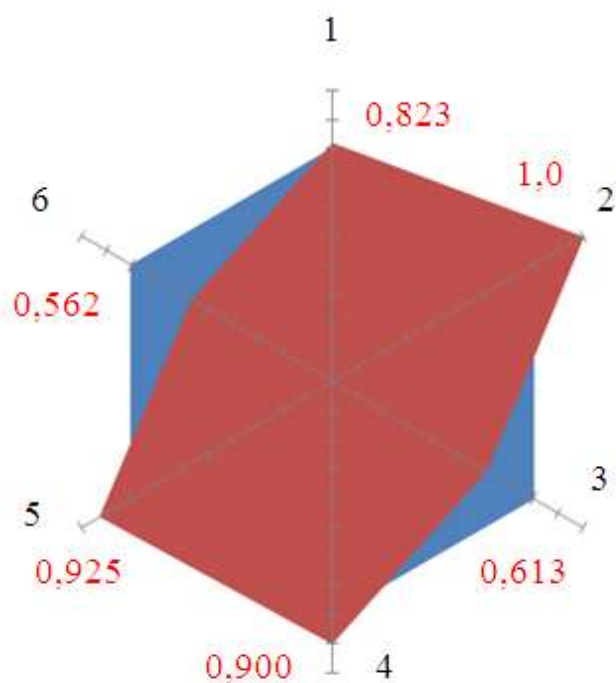
Анализ диаграммы единичного показателя $q_1(P^3)$, характеризующего возможности экскаваторного парка ЭАК разреза в плане обеспечения погрузки требуемого объёма горной массы, показывает, что разрезы «Краснобродский»,

$q_1(\Pi^3)$

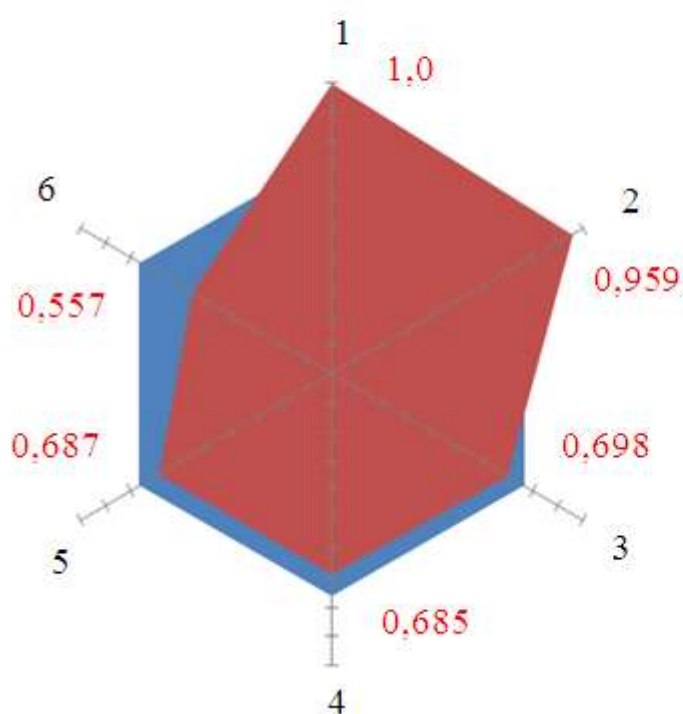
$$q_1(\Pi^3)^{KPY} = 0,699$$


 $q_2(\Pi^c)$

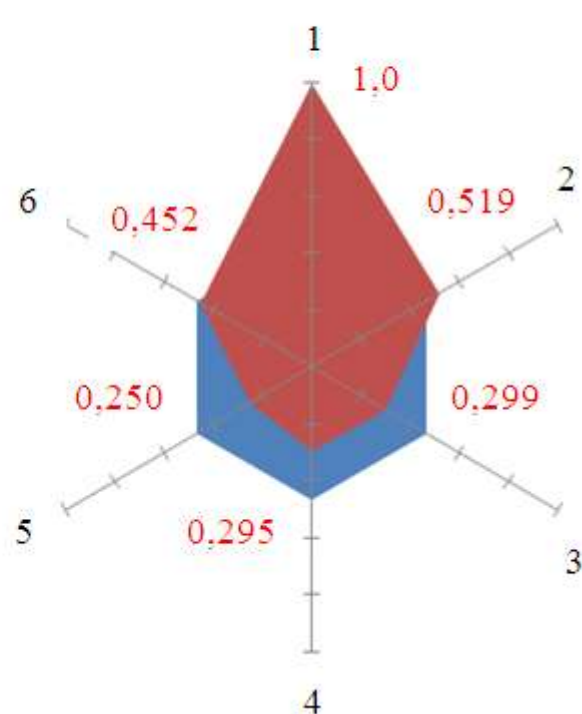
$$q_2(\Pi^c)^{KPY} = 0,804$$


 $q_3(\vartheta_3)$

$$q_3(\vartheta_3)^{KPY} = 0,764$$


 $q_4(k_{np}^\Sigma)$

$$q_4(k_{np}^\Sigma)^{KPY} = 0,469$$



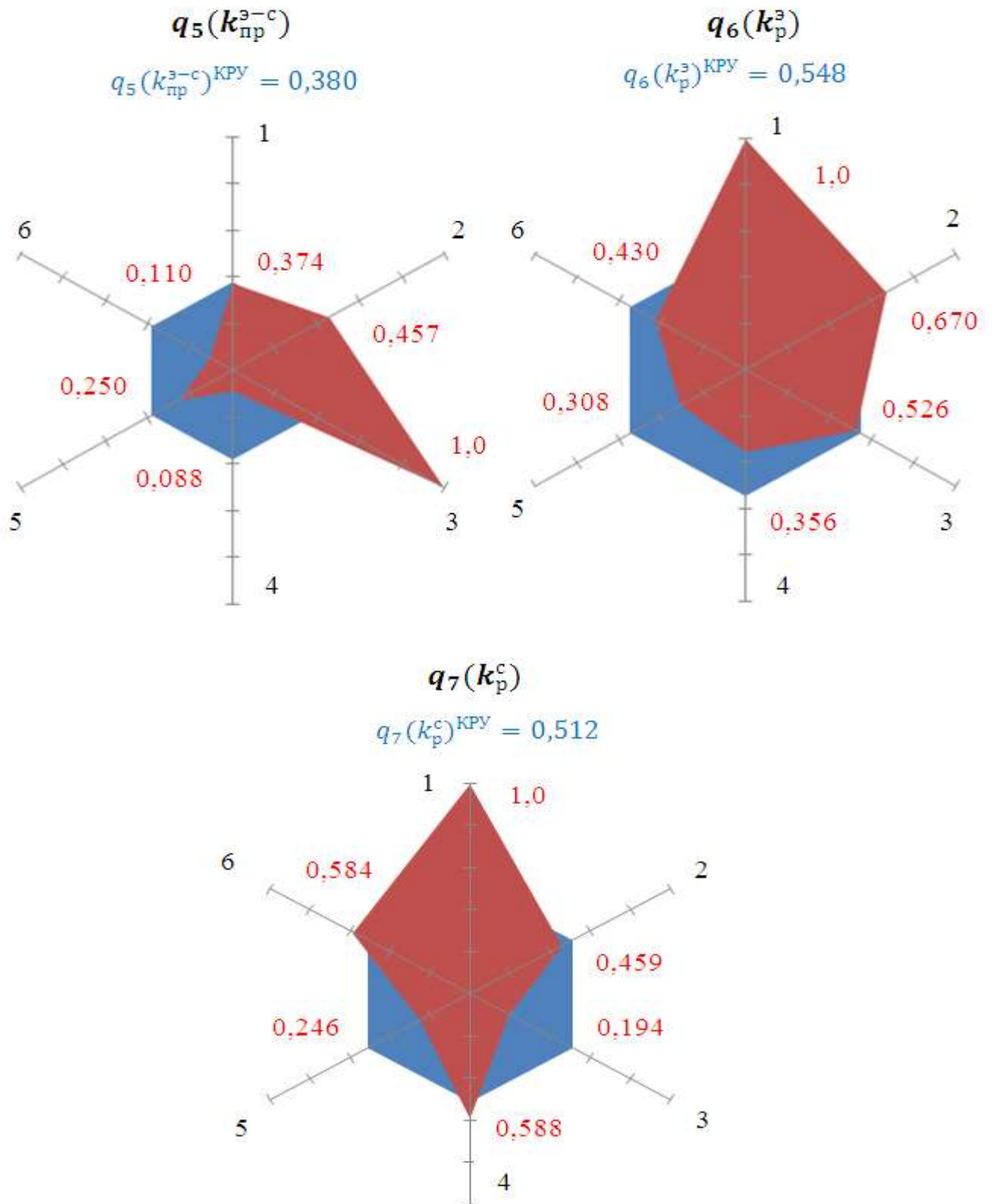


Рисунок 2.5 – Диаграммы единичных показателей качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов в летний период (красным цветом – по соответствующим разрезам)

1 – Краснобродский; 2 – Талдинский; 3 – Бачатский; 4 – Моховский;
 5 – Кедровский; 6 – Калтанский

«Талдинский» и «Бачатский» имеют очень высокие значения этого показателя (для них средневзвешенное значение его составляет 0,927). Общий уровень качества по этому показателю в целом по Компании составляет $k = 0,699$, что на 28,0% ниже, чем в лидирующей группе. В группе отстающих по этому показателю находятся также три разреза: «Моховский», «Калтанский» и в меньшей степени «Кедровский». Средневзвешенное значение показателя для них составляет $k = 0,471$, что по сравнению с общим по Компании ниже на 39,0%. Таким образом, группа разрезов-аутсайдеров оказывает в 1,4 раза большее влияние на величину этого показателя для Компании в целом, чем разрезов-лидеров [102].

Вторым показателем, по которому имеется явная группа лидеров, является единичный показатель $q_2(P^c)$, отражающий возможности автотранспортных парков ЭАК разрезов. Это разрезы «Краснобродский», «Талдинский», «Моховский» и «Кедровский». Общий уровень качества работы ЭАК разрезов-лидеров по этому показателю составляет 0,912; для Компании в целом – 0,804 (превышение – 12,6%). В группе аутсайдеров находятся разрезы «Бачатский» и «Калтанский». Для них общий уровень качества по этому показателю составляет 0,588, что на 31,0% ниже, чем в целом по Компании. Это один из двух единичных показателей, по которому даже в группе разрезов-аутсайдеров средний уровень качества выше 0,5. Это означает, что возможности автотранспортных парков всех разрезов достаточны для обеспечения своевременного вывоза требуемых объёмов горной массы. В то же время для разреза «Бачатский», например, хорошие возможности экскаваторного парка сочетаются с довольно низкими возможностями автотранспортного парка. Такое несоответствие возможностей парков техники на этом разрезе приводит к заметному снижению значения комплексного показателя, в результате чего разрез находится лишь на 3-м месте в ранжированном списке.

Анализ диаграммы единичного показателя $q_3(v_3)$, отражающего влияние эксплуатационной скорости самосвалов на уровень качества работы ЭАК, свидетельствует о том, прежде всего, что лишь у двух разрезов («Краснобродский» и «Талдинский») значения этого показателя существенно выше, чем у остальных. Общий уровень качества работы ЭАК по этому показателю для этих разрезов со-

ставляет 0,980, что на 24,8% выше, чем по Компании в целом (0,764). У этого показателя, как и у предыдущего, уровень качества даже по отстающим разрезам составляет 0,659, то есть выше значения 0,5. Это подтверждает вывод, сделанный по предыдущему показателю: возможности автотранспортных парков всех разрезов велики, и если разрез по комплексному показателю качества оказывается невысоко в ранжированном списке, то виной этому являются слабые результаты его работы по другим показателям. Этим подтверждается необходимость комплексного рассмотрения работы ЭАК как целостной системы в составе разреза или Компании в целом [102].

Значительно хуже обстоит дело с показателем $q_4(k_{\text{пр}}^{\Sigma})$, характеризующим влияние суммарных простоев погрузочно-транспортной техники на качество работы ЭАК. Лишь у двух разрезов («Краснобродский» и «Талдинский») показатель выше, чем 0,5 и чем в целом по Компании (0,469), причём в целом по Компании значение показателя даже ниже 0,5. Это свидетельствует о неблагополучии на большинстве разрезов с простоями техники – они слишком велики. Средневзвешенное значение показателя в лидирующей группе составляет 0,760 (превышение по сравнению со средним по Компании на 47,5%); в группе разрезов-аутсайдеров – всего 0,324, что ниже, чем по Компании в целом, на 36,6%.

Аналогичная ситуация с показателем $q_5(k_{\text{пр}}^{\Sigma-c})$, характеризующим соотношение простоев экскаваторов и самосвалов и показывающим степень влияния его на качество работы ЭАК. Следует отметить, что влияние это является отрицательным. Простой дорогостоящих экскаваторов слишком велики по сравнению с простоями менее дорогих самосвалов. Как и в предыдущем случае, лишь у двух из шести разрезов («Бачатский» и «Талдинский») значение показателя выше, чем в среднем по КРУ, и лишь у разреза «Бачатский» – выше 0,5. Средневзвешенное значение показателя в лидирующей группе составляет 0,728, что на 62,8% выше, чем в целом по Компании (0,380). В группе аутсайдеров значение показателя составляет 0,206, что ниже, чем в целом по Компании, на 59,4%. И совсем плохо обстоит дело с этим показателем на разрезах «Калтанский» и особенно – «Мохов-

ский». Всё это, как и в предыдущем случае, свидетельствует о крайнем неблагоприятии с проблемой простоев экскаваторных парков ЭАК разрезов.

Из диаграммы единичного показателя $q_6(k_p^3)$, отражающего эффективность соотношения производительного (работа) и непроизводительного (простои) использования экскаваторной техники, видно преобладание двух разрезов-лидеров («Краснобродский» и «Талдинский») над остальной группой разрезов. Средневзвешенное значение показателя у лидеров составляет 0,835, что на 41,5% выше, чем в целом по Компании (0,548). У разрезов-аутсайдеров этот показатель составляет 0,405, что ниже граничного значения 0,5. Это на 30,0% ниже, чем в целом по Компании, и более чем в 2 раза – чем у разрезов-лидеров. Низкие значения показателя у большинства разрезов свидетельствуют о больших простоях экскаваторных парков и необходимости их существенного сокращения.

Несколько лучше обстоит дело с показателем $q_7(k_p^c)$, характеризующим рациональность соотношения рабочего времени и простоев автотранспортных парков разрезов. У трёх разрезов («Краснобродский», «Моховский» и «Калтанский») значение показателя выше, чем в целом по Компании. Средневзвешенное значение показателя для лидирующей группы составляет 0,724, что на 34,3% выше, чем в целом по Компании. Для трёх разрезов-аутсайдеров средневзвешенное значение показателя составляет 0,300, что на 52,2% ниже, чем по Компании в целом. Особенно плохо обстоит дело с этим показателем у разрезов «Бачатский» и «Кедровский». Автотранспортные парки ЭАК этих разрезов простаивают слишком много.

Анализ единичных показателей качества работы ЭАК в целом по Компании свидетельствует о неблагоприятии с двумя показателями: $q_4(k_{пр}^Z)$ и $q_5(k_{пр}^{3-c})$, по которым средние по КРУ значения ниже 0,5. Эти показатели отражают долю простоев погрузочно-транспортной техники в продолжительности рабочей смены (она слишком велика), и соотношение простоев экскаваторов и самосвалов (простои экскаваторов, как высокопроизводительных и дорогостоящих машин, тоже слишком велики). Отсюда следует, что основные усилия нужно направить на сокращение простоев вообще, и простоев экскаваторов – в частности.

Оценка общего состояния качества работы ЭАК на разрезах по всем показателям и каждому из показателей может быть произведена по диаграммам, приведённым на рисунке 2.6.

Более или менее благополучно обстоит дело с качеством работы ЭАК на разрезах «Краснобродский», «Талдинский» и в меньшей степени – «Бачатский», у которых средневзвешенные значения уровня качества по единичным показателям выше значения 0,5. Средневзвешенное значение показателей качества у этих разрезов составляет 0,732. То же значение для разрезов-аутсайдеров составляет 0,461, что на 45,4% ниже, чем у лидеров.

Общий анализ результатов расчёта единичных показателей показывает, что преобладающее влияние на их величину оказывает функциональный критерий, который во многом определяется соотношением численности автотранспортного и экскаваторного парков в составе ЭАК разреза и продолжительностью рейса самосвалов (зависимость 2.4). Чем выше это соотношение и меньше продолжительность рейса, тем большую величину имеет функциональный критерий и тем выше значение соответствующего единичного показателя. Действительно, из таблиц 2.11 и 2.12 видно, что ранжирование разрезов по функциональному критерию во многом соответствует ранжированию по комплексному показателю k . Это означает, в конечном счёте, что более качественно работают ЭАК тех разрезов, на которых для обслуживания имеющихся экскаваторов выделяется больше самосвалов. Однако и увеличивать этот показатель бесконечно нельзя, поскольку появляются простои самосвалов в ожидании погрузки. То же можно сказать и о других показателях. Есть какие-то оптимальные диапазоны изменения показателей. Однако какими конкретно должны быть соотношение $k'_N = N_c/N_z$ и продолжительность рейса t_p , установить здесь не представляется возможным. Они, очевидно, могут быть определены лишь в результате оптимизации работы ЭАК. Из общего ряда разрезов-лидеров выбивается разрез «Бачатский», занимающий 3-е место в ранжированном списке. Для него все показатели качества работы ЭАК имеют достаточно высокие значения, и лишь один показатель – расстояние транспортирования $L_{тр}$, а значит, и время рейса самосвалов t_p – сильно завышено, и это при-

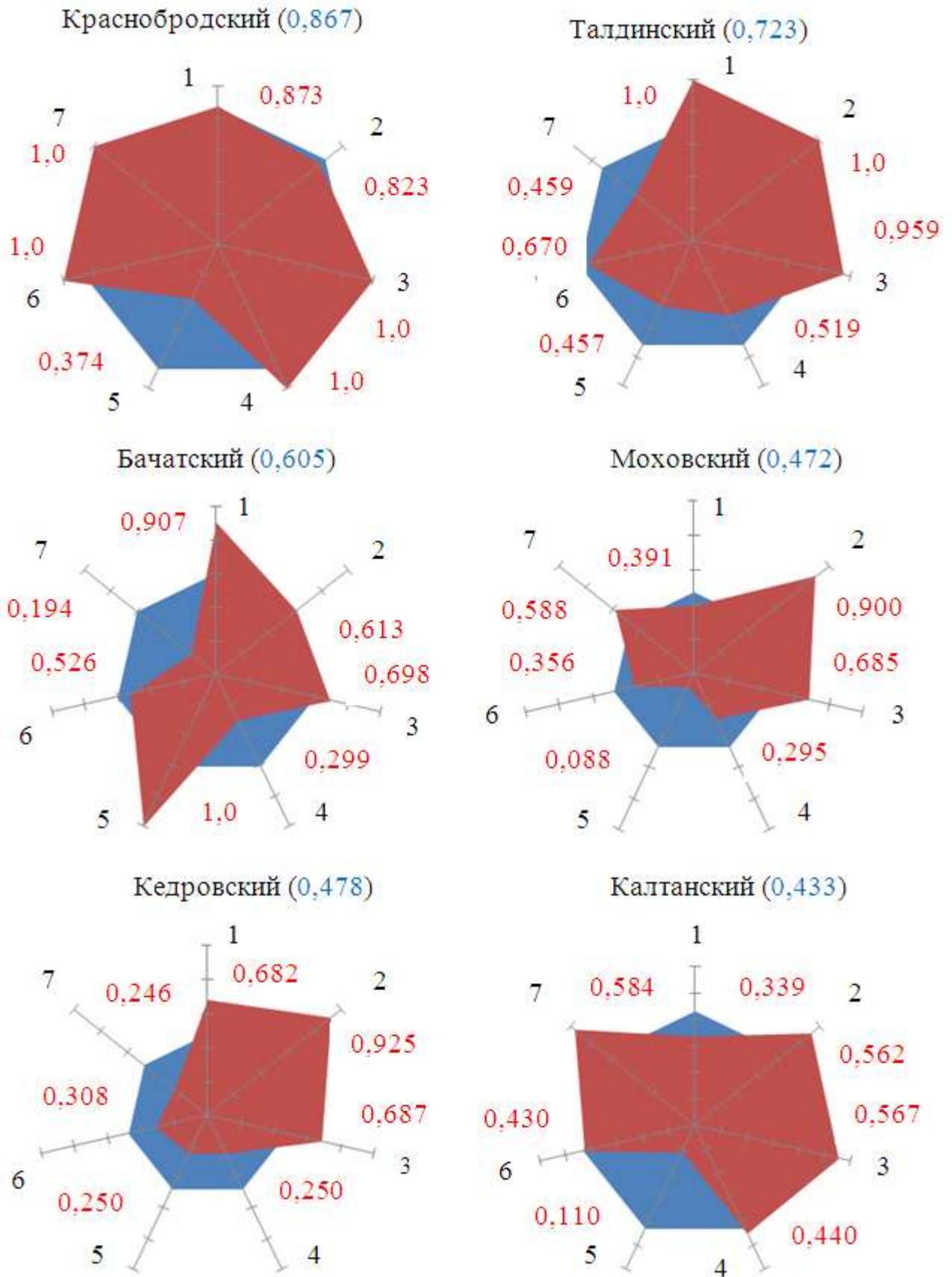


Рисунок 2.6 – Диаграммы качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов по единичным показателям (синим цветом – в целом по УК «Кузбассразрезуголь»)

1 – $q_1(\Pi^3)$; 2 – $q_2(\Pi^c)$; 3 – $q_3(\vartheta_3)$; 4 – $q_4(k_{np}^{\Sigma})$; 5 – $q_5(k_{np}^{3-c})$; 6 – $q_6(k_p^3)$; 7 – $q_7(k_p^c)$

водит к резкому снижению функционального критерия со всеми вытекающими отсюда отрицательными последствиями. На диаграмме разреза «Бачатский» на рисунке 2.6 видно, что высокие значения одних единичных показателей соседствуют с низкими значениями других, зависящих от времени рейса самосвалов, то есть налицо их несбалансированность. То же, но в меньшей степени, можно сказать и о разрезах «Калтанский», «Моховский» и даже «Краснобродский», диаграммы которых наряду с «выпуклой» общей конфигурацией имеют и «вдавленные» участки. А это есть следствие несбалансированности показателей. Установлено, что показатели разрезов, имеющих более высокое значение функционального критерия, более сбалансированы. Разброс значений единичных показателей качества работы ЭАК разреза «Талдинский» с наибольшим значением функционального критерия ($\lambda = 0,704$), составляет $\pm 32,2\%$, а разреза «Бачатский», занимающего 5-е место в ранжированном списке по функциональному критерию, – $\pm 53,7\%$. Это означает, что сбалансированность показателей, характеризующих работу ЭАК, также повышает их качество [102].

Таким образом, анализ качества работы ЭАК разрезов позволяет сделать вывод о том, что его повышение может быть достигнуто за счёт оптимизации работы ЭАК, которые позволяют определить и оптимально сбалансировать основные характеризующие их режимные параметры. Это может служить средством серьёзного повышения качества работы действующих, а также вновь проектируемых ЭАК.

ВЫВОДЫ

1. Существующие методики оценки качества горных машин носят интегральный характер. Наиболее приемлемой для оценки качества работы ЭАК разрезов является методика безэкспертной оценки качества горных машин на основе функционального критерия.

2. В качестве функционального критерия оценки качества ЭАК разрезов следует принять отношение интенсивности подачи самосвалов под погрузку и ин-

тенсивности обслуживания их экскаваторами, что позволяет скоординировать работу экскаваторного и автотранспортного парков ЭАК.

3. Основными показателями, определяющими уровень качества работы ЭАК разрезов, являются показатели производительности экскаваторного и автотранспортного парков ЭАК, эксплуатационная скорость самосвалов в составе ЭАК, доля простоев техники в продолжительности рабочей смены, соотношение простоев экскаваторов и самосвалов, а также уровни производительного использования экскаваторного и автотранспортного парков в составе ЭАК.

4. Установлено, что качество работы ЭАК в переходный (осенне-весенний) период из-за более низких скоростных характеристик работы автотранспортного парка снижается в среднем на 12,8%.

5. Уровень качества работы ЭАК всех разрезов по единичным показателям является допустимым. Однако для большинства разрезов проблемными являются неудовлетворительное соотношение численности автотранспортного и экскаваторного парков, большая величина и нерациональная структура простоев.

6. Серьёзным средством повышения качества проектируемых и уже действующих ЭАК является оптимизация основных параметров ЭАК как элемента их оптимального проектирования.

3 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

3.1 Системный подход при проектировании карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов и оптимизации их работы

Опыт проектировщиков, занимающихся разработкой сложных объектов, убеждает в том, что производиться это должно не иначе, как с использованием системного подхода, когда при проектировании учитывается не только состав объекта, но и взаимосвязи между его частями (элементами). При этом системный подход предполагает рассмотрение не только внутрисистемных связей, но и связей системы с внешней средой. Совокупность связей внешних объектов, свойства которых оказывают влияние на систему, являются входами системы; а объектов, чьи свойства изменяются под воздействием функционирования системы, – выходами [62].

Система – это совокупность взаимосвязанных элементов, обособленных от внешней среды и взаимодействующих с ней как единое целое. В качестве таких элементов могут выступать материальные части объекта, а также абстрактные составляющие – математические переменные, зависимости и т.п. Различают элементы и их свойства. Если элементами системы являются физические объекты, то их свойствами будут характеризующие их показатели; если математические переменные, то числовые значения этих переменных.

Поскольку анализируемые в системе взаимосвязи целиком зависят от специфики решаемой задачи, в рассмотрение включаются лишь наиболее значимые из них.

В результате функционирования системы входные показатели преобразуются в выходные. Это преобразование может происходить по детерминированному алгоритму, когда известны точные функциональные зависимости выходных показателей от входных, либо, когда такой жёсткой связи нет, посредством установления взаимосвязей между ними через регрессионные модели.

Любая система может быть разделена на соответствующие всё более мелкие составляющие: подсистемы и элементы. Разделение (декомпозиция) системы на подсистемы и элементы является в значительной степени условным. Всё зависит от цели декомпозиции. Поэтому в качестве подсистем целесообразно выделять более или менее самостоятельно функционирующие части системы.

Всё более подробная декомпозиция системы приводит к образованию специфической древовидной структуры, имеющей различные иерархические уровни. Они различаются по степени детализации частей системы вплоть до конечных фрагментов, дальнейшее расчленение которых нецелесообразно с точки зрения характера решаемой задачи. На работу подсистем всех уровней оказывают воздействие как выше-, так и нижележащие уровни. Верхний уровень конкретизирует задачу, которую необходимо решить на нижестоящих уровнях; нижестоящие уровни несут вышестоящим информацию о состоянии нижнего уровня. Поэтому кроме иерархического расположения подсистем по вертикали, имеет место не только приоритет действий подсистем более высокого уровня над нижестоящими, но и зависимость действий подсистем верхнего уровня от фактического исполнения низшими уровнями своих функций [104, 105].

В технической области системные исследования чаще всего направлены на проектирование сложных технических комплексов, под которым понимается методология формирования эффективных процедур проектирования и поиска системных характеристик комплекса [106].

С точки зрения формальных методов проектирования [107, 108] образование системы рассматривается как совокупность двух задач: синтеза структуры и синтеза параметров. Выбор структуры (совокупность и характер взаимосвязей) является творческим процессом. Предметом синтеза параметров является установление числовых значений изменяемых параметров (факторов). Если считать, что структура системы и описывающие её математические модели уже определены, задача синтеза параметров сводится к поиску решения, удовлетворяющего принятым критериям и ограничениям. Такой подход характерен и для решаемой нами задачи проектирования карьерного ЭАК.

Исходными данными (внешняя среда) для проектирования карьерного ЭАК являются внешние условия работы ЭАК, характеристика комплекса в целом и составляющей его техники (экскаваторов и самосвалов), а также общие требования к ЭАК, регламентированные нормативными документами или обусловленные требованиями потребителей.

Обеспечение требуемых показателей работы ЭАК в данных условиях с учётом технических и технологических требований во многом зависит от состава и структуры имеющихся экскаваторного и автотранспортного парков, качества их работы и взаимодействия. В зависимости от объёмов горной массы, требующей погрузки и вывоза в течение рабочей смены, формируется экскаваторный парк, количественный и типоразмерный состав которого вместе с расстоянием транспортирования, определяет необходимую численность и типоразмеры самосвалов автотранспортного парка. Результатом совместной работы парков являются и все другие параметры ЭАК, а также необходимая продолжительность рабочей смены (суток). Все эти характеристики ЭАК не являются независимыми друг от друга, а их параметры, так же будучи взаимосвязанными, определяют и основные выходные эксплуатационные показатели работы ЭАК в целом.

Таким образом, при проектировании должны обеспечиваться оптимальное соотношение получаемых выходных эксплуатационных показателей работы ЭАК и их обратная связь с исходными (входными) показателями [109].

Разработанная на этой основе структурная схема проектирования ЭАК приведена на рисунке 3.1. Схема отображает ЭАК с позиций системного подхода и определяет методику оптимизации его параметров.

3.2 Схема оптимизации параметров экскаваторно-автомобильного комплекса

Методология оптимального проектирования, как важнейшего направления повышения качества, в настоящее время разработана ещё недостаточно.

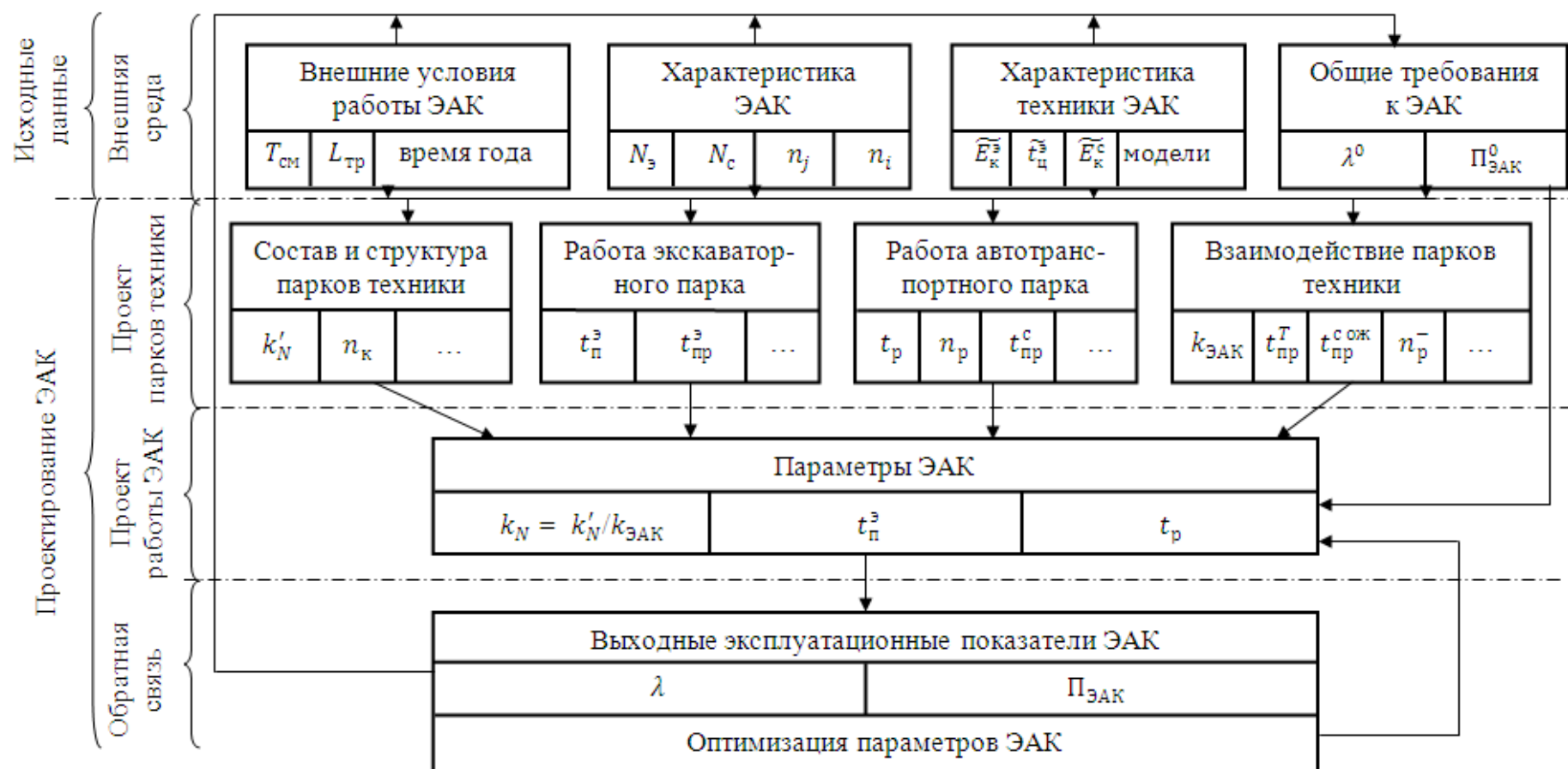


Рисунок 3.1 – Структурная схема проектирования карьерного экскаваторно-автомобильного комплекса и его оптимизации

$T_{см}$ – продолжительность смены; $L_{тр}$ – расстояние транспортирования; $N_э, N_с, n_j, n_i$ – количество экскаваторов, самосвалов и их типоразмеров; $\widetilde{E}_к^э, \widetilde{t}_ц^э, \widetilde{E}_к^с$ – показатели технической характеристики техники; λ – функциональный критерий; $\Pi_{ЭАК}$ – производительность ЭАК; k'_N, k_N – коэффициент состава и эффективного состава ЭАК; $n_к$ – количество кошей, загружаемых в кузов; $t_п^э$ – время загрузки самосвала; t_p – время рейса; n_p – количество выполненных рейсов; $t_{пр}^э, t_{пр}^с, t_{пр}^T$ – простои экскаваторов, самосвалов и техники в целом; $t_{пр}^{с\text{ож}}$ – простои самосвала в ожидании погрузки; n_p^- – количество рейсов, потерянных в ожидании; $k_{ЭАК}$ – коэффициент эксплуатационной производительности ЭАК; $\Pi^э, \Pi^с$ – показатели производительности парков экскаваторов и самосвалов; $v_э$ – эксплуатационная скорость самосвалов; $k_{пр}^э$ – доля простоев в продолжительности смены; $k_{пр}^{э-с}$ – соотношение простоев экскаваторов и самосвалов; $k_p^э, k_p^с$ – показатели производительного использования экскаваторов и самосвалов

Каждый объект проектирования, в том числе и ЭАК, имеет определенное назначение и, как система, характеризуется составом, структурой и параметрами. Структура должна обеспечивать надёжное функционирование ЭАК и достижение поставленных перед ним целей в соответствии с назначением. Все эти характеристики (структура ЭАК, характеризующие его параметры, показатели работы его составных частей и взаимосвязи между ними) составляют первичную информацию для оптимального проектирования ЭАК [62].

Для того чтобы обеспечить оптимальное функционирование ЭАК, характеризующие его параметры должны быть оптимальным образом согласованы. Оптимизация предполагает совместный анализ математических моделей, описывающих взаимодействие подсистем ЭАК и отражающих требования, предъявляемые к их работе, а также действующие ограничения на работу системы [62].

Качество оптимизации параметров ЭАК во многом определяется правильным выбором критерия оптимизации и комплекса оптимизируемых параметров. Параметр оптимизации – показатель качества объекта, системы или процесса, для определения наилучшего значения которого и проводятся необходимые исследования.

В качестве критерия оптимизации удобно использовать комплексный показатель качества работы ЭАК, а в качестве оптимизируемых параметров – параметры, определяющие функциональный критерий и производительность ЭАК. При этом это должны быть параметры, относящиеся к одному иерархическому уровню, а именно к тому, на котором находятся параметры, характеризующие проектируемый ЭАК в целом. Это в полной мере отвечает принципам квалиметрии [58, 60].

Для оптимизации параметров ЭАК необходимо составить формальную математическую модель. Математическая модель оптимизации (ММО) состоит из целевой функции, ограничений и граничных условий.

Целевая функция представляет собой математическое описание цели использования ЭАК от оптимизируемых параметров, и в общем виде может быть

выражена как: $C = f(P_j) \rightarrow \max(\min)$, где P_j – оптимизируемые параметры ($j = 1, 2, \dots, m$, где m – число оптимизируемых параметров).

Ограничения в ММО могут представлять собой описания связей между оптимизируемыми параметрами, формализацию выражений по соответствию фактических выходных показателей заданным, а также дополнительных целей, которые не вошли в целевую функцию. Ограничения выражаются либо в виде зависимостей, описывающих связи между оптимизируемыми параметрами: $c_j = f_c(P_j)$; $j = 1, 2, \dots, m$, либо в виде неравенств, описывающих различные конструктивные, эксплуатационные и нормативные ограничения, $-H_k \geq f_H(P_j)$; $k = 1, 2, \dots, l$.

Граничные условия показывают предельно допустимые значения переменных. В общем случае граничные условия являются двухсторонними: $b_j \geq P_j \geq a_j$, однако часто верхняя граница b_j отсутствует ($b_j \rightarrow \infty$), а нижняя a_j – равна нулю. Таким граничным условием накладывается только требование неотрицательности оптимизируемого параметра, то есть $P_j \geq 0$.

Таким образом, процесс проектирования ЭАК с содержательной точки зрения включает сбор исходной информации о нём, оптимизацию его параметров исходя из целей функционирования ЭАК, принятие на её основе решений и оформление результатов в виде нормативно-технической документации, которая служит основой при воплощении проекта в готовый продукт. Указанная нормативно-техническая документация разрабатывается для каждого потребителя применительно к его конкретным условиям и может быть представлена в виде технического задания [110].

3.3 Оптимизационная модель экскаваторно-автомобильного комплекса

3.3.1 Обоснование и формирование целевой функции

Целевая функция представляет собой математическое описание зависимости цели функционирования ЭАК от величин оптимизируемых параметров и в данном случае выражается в технических единицах из-за неустойчивости и слабой достоверности стоимостных (денежных, ценовых) единиц. Кроме того, опти-

мизация по техническим целевым функциям даёт лучшую согласованность разных параметров ЭАК и обеспечивает более высокую точность оптимизации, чем по целевым функциям в стоимостной форме [109].

Одним из методов получения целевых функций технического вида является метод, основанный на использовании в качестве критерия оптимизации комплексных оценок качества работы машин и комплексов.

Основными выходными эксплуатационными показателями для ЭАК разрезов являются функциональный критерий λ , а также производительность ЭАК $P_{\text{ЭАК}}$, определяющие и все другие его характеристики.

Главным критерием качества проектирования объекта является соответствие фактических эксплуатационных показателей предписанным значениям. Таким образом, главной задачей оптимизации является обеспечение заданных выходных эксплуатационных показателей, и чтобы и сами параметры ЭАК соотносились между собой оптимальным образом.

Для этого должна быть обеспечена функциональная взаимозависимость указанных выходных эксплуатационных показателей ЭАК с функциональными показателями работы их частей [109]. Для установления номенклатуры этих показателей необходимо проанализировать выходные эксплуатационные показатели с учётом иерархической структуры показателей работы ЭАК.

Иерархическая структура разработана на основе схемы (рисунок 3.1) и приведена на рисунке 3.2.

Как уже указывалось выше, основным выходным эксплуатационным показателем, характеризующим качество работы ЭАК как единой системы, является функциональный критерий.

Согласно зависимости (2.4) функциональный критерий λ определяется четырьмя основными показателями: соотношением численного состава автотранспортного и экскаваторного парков $k'_N = N_c/N_{\text{э}}$, средневзвешенными по каждому разрезу значениями времени загрузки самосвалов экскаваторами $t_{\text{н}}^{\text{э}}$ и временем рейса самосвала $t_{\text{р}}$, а также коэффициентом эксплуатационной производительности ЭАК $k_{\text{ЭАК}}$.

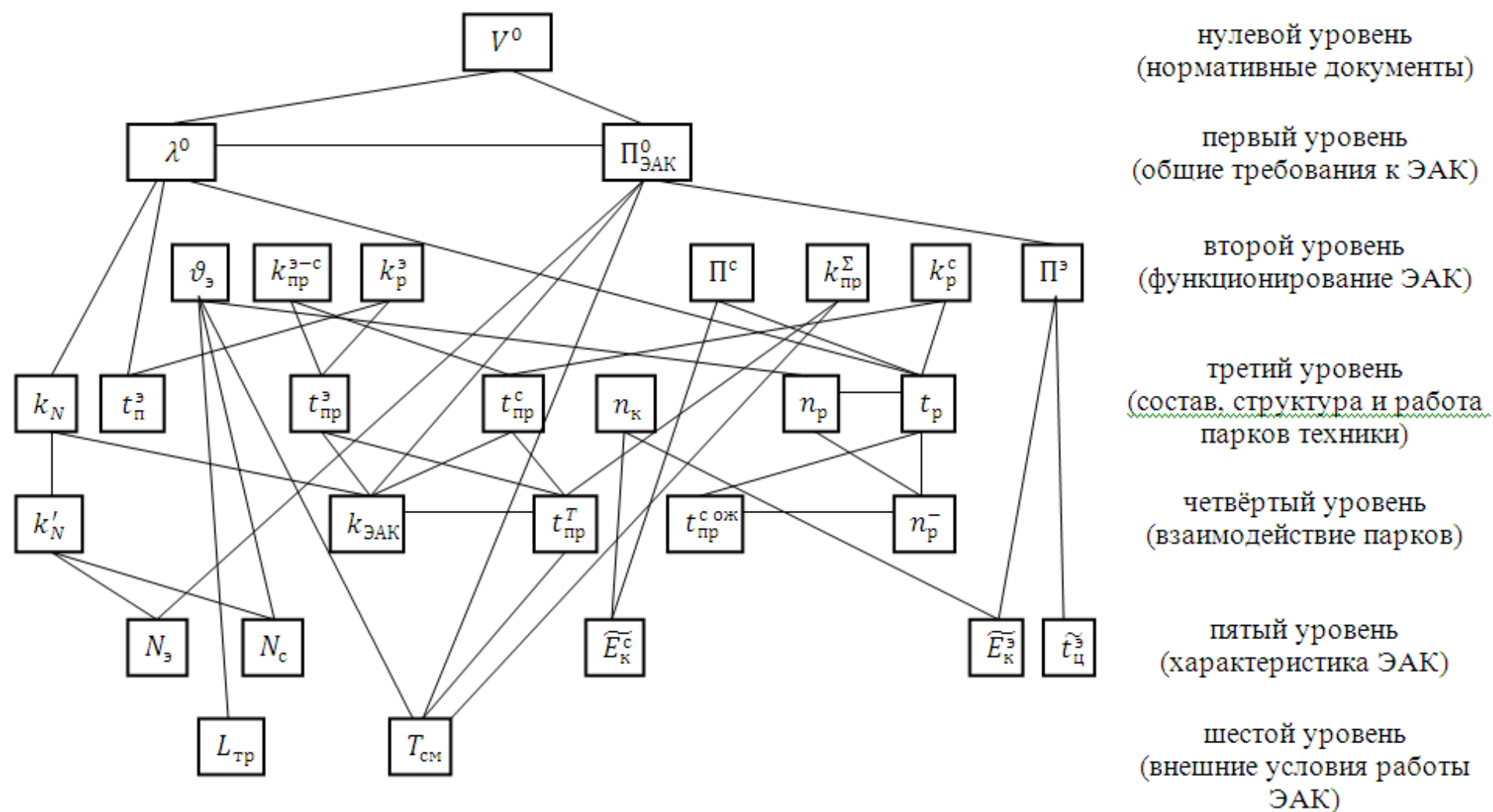


Рисунок 3.2 – Иерархическая структура показателей работы экскаваторно-автомобильного комплекса

Входящие в формулы для определения функционального критерия (2.4) и производительности экскаваторного парка (2.2) величина $N_{\text{э}} \cdot k_{\text{ЭАК}}$ представляет собой эффективное (работающее) количество экскаваторов, являющихся ведущими машинами в составе ЭАК. Обозначив через

$$k_N = \frac{N_c}{N_{\text{э}} \cdot k_{\text{ЭАК}}} \quad (3.1)$$

коэффициент эффективного состава автотранспортного и экскаваторного парков ЭАК, получим следующее выражение для функционального критерия:

$$\lambda = \frac{k_N \cdot t_{\text{п}}^3}{t_p}. \quad (3.2)$$

Коэффициент эксплуатационной производительности ЭАК $k_{\text{ЭАК}}$ показывает влияние простоев экскаваторного и автотранспортного парков на производительность ЭАК. Произведение числа работающих экскаваторов в конкретную смену на этот коэффициент отражает истинное количество экскаваторов без учёта их простоев, поэтому показатель k_N и назван коэффициентом эффективного (работающего без простоев) состава парков техники ЭАК в течение рабочей смены (суток).

Все входящие в зависимость (3.2) показатели: k_N , $t_{\text{п}}^3$ и t_p находятся на одном уровне иерархической структуры (рисунок 3.2), и могут рассматриваться в качестве оптимизируемых параметров ЭАК.

Сменную (суточную) производительность ЭАК с учётом зависимости (2.2) можно представить в виде ($\text{м}^3/\text{смену}$):

$$П_{\text{ЭАК}} = П^{\text{э}} \cdot N_{\text{э}} \cdot T_{\text{см}} \cdot k_{\text{ЭАК}}. \quad (3.3)$$

Имея из формулы (3.1): $N_{\text{э}} \cdot k_{\text{ЭАК}} = \frac{N_c}{k_N}$, и подставив это в зависимость (3.3), получим: $П_{\text{ЭАК}} = П^{\text{э}} \cdot \frac{N_c}{k_N} \cdot T_{\text{см}}$.

Чтобы избежать необходимости сводить воедино разрезы с сильно различающимися по численности автотранспортными парками (от 28 до 93 самосвалов; таблицы 2.1-2.7), целесообразно использовать удельную производительность ЭАК (в расчёте на один самосвал). Имеем

$$\Pi_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}} = \frac{\Pi^{\text{э}} \cdot T_{\text{см}}}{k_N}. \quad (3.4)$$

Зависимость продолжительности смены $T_{\text{см}}$ от оптимизируемых параметров получим из следующих соображений. Суммарное время простоев техники $t_{\text{пр}}^T = \sum_1^{N_{\text{э}}} t_{\text{пр}}^{\text{э}} + \sum_1^{N_{\text{с}}} t_{\text{пр}}^{\text{с}}$ представляет собой суммарную продолжительность рабочих смен всех самосвалов за вычетом суммарного времени рейсов всех самосвалов в течение смены, то есть

$$t_{\text{пр}}^T = T_{\text{см}} \cdot N_{\text{с}} - t_{\text{р}} \cdot n_{\text{р}}. \quad (3.5)$$

С другой стороны, из (2.2) имеем:

$$t_{\text{пр}}^T = T_{\text{см}}(N_{\text{с}} + N_{\text{э}})(1 - k_{\text{ЭАК}}). \quad (3.6)$$

Из равенства зависимостей (3.5) и (3.6), а также с учётом того, что

$$k_{\text{ЭАК}} = \frac{N_{\text{с}}}{N_{\text{э}} \cdot k_N}, \quad (3.7)$$

после преобразований получим:

$$T_{\text{см}} = \frac{t_{\text{р}} \cdot n_{\text{р}} / N_{\text{с}}}{\frac{k'_N + 1}{k_N} + \frac{1}{k'_N}}. \quad (3.8)$$

Предполагаем наличие связи между количеством рейсов, выполненных каждым самосвалом в течение смены, $n_{\text{р}}/N_{\text{с}}$ и продолжительностью рейса $t_{\text{р}}$. Действительно, чем больше время рейса, тем меньшее количество рейсов самосвал за смену может выполнить. Поэтому будем искать зависимость вида $n_{\text{р}}/N_{\text{с}} = a - b \cdot t_{\text{р}}$. Расчёты подтвердили существование такой зависимости. Её вид и результаты статистической обработки для летнего и осенне-весеннего периодов года приведены в таблице 3.1.

Графики основных зависимостей из таблицы 3.1 приведены на рисунках 3.3-36. Точки на графиках составляют данные по каждому разрезу. Штриховыми линиями показаны соответствующие стандартные отклонения S_0

Связь между показателями k'_N и k_N в зависимости (3.8) зафиксировать не удаётся, поэтому зависимость между ними будем вычислять через разность

Таблица 3.1 – Результаты корреляционного анализа взаимосвязей показателей качества работы
экскаваторно-автомобильных комплексов

Исследуемые взаимосвязи	Параметры регрессии		Значимость параметров регрессии, F	Критическое значение критерия Фишера, $F_{кр}$	Коэффициент корреляции, r	Надёжность коэффициента корреляции, t	Критическое значение критерия Стьюдента, $t_{кр}$	Стандартное отклонение, S_0
	a	b						
Показатель производительности экскаваторного парка – соотношение самосвалов и экскаваторов: – $\Pi^3 = a + b(N_c/N_3)$	10,85	5,884	75,25	6,94	0,862	3,40	2,776	3,54
Число загружаемых ковшей – соотношение чис- ленности самосвалов и экскаваторов: – $n'_k = a + b(N_c/N_3)$	6,395	–0,635	38,078	6,94	0,862	3,40	2,776	0,381
Доля простоев в продолжительности смены – ко- эффициент эксплуатационной производительности: – $k_{пр}^{\Sigma} = a + bk_{ЭАК}$:	1,390	–1,378	998,77	6,94	0,994	18,07	2,776	0,003
– летний период	1,377	–1,367	663,21	6,94	0,993	16,55	2,776	0,003
Число загружаемых ковшей – показатель произ- водительности экскаваторного парка: – $n'_k = a + b\Pi^3$	6,796	–0,0894	30,863	6,94	0,829	2,966	2,776	0,422

Окончание таблицы 3.1

Количество рейсов на один самосвал – продолжительность рейса: $-n_p/N_c = a + bt_p$								
– летний период	77,24	–1,318	219,48	6,94	0,914	4,514	2,776	1,914
– осенне-весенний период	75,54	–1,125	196,60	6,94	0,903	4,200	2,776	2,020
Время загрузки кузова – время рейса: $-t_n^3 = a + bt_p$								
– летний период	4,978	–0,0619	211,67	6,94	0,792	2,597	2,776	0,156
– осенне-весенний период	4,942	–0,0539	215,67	6,94	0,796	2,651	2,776	0,155
Расстояние транспортирования – время рейса: $-L_{mp} = a + bt_p$	–1,0	0,171	2928,8	6,94	0,995	20,306	2,776	0,050
Продолжительность цикла экскаватора – вместимость ковша экскаватора: $-t_y^3 = a + bE_k^3$	0,435	0,00195	5224,1	6,94	0,805	5,079	2,776	0,005
Зависимость функций F_k от показателя k_N : $-F_k = a + bk_N$								
– летний период	–0,527	1,0155	1492762	6,94	0,999	44,40	2,776	0,003
– осенне-весенний период	–0,474	1,0143	1776755	6,94	0,999	44,74	2,776	0,003
Зависимость между продолжительностями рейса в летний и осенне-весенний периоды года: $-t_p^{o-с} = a + bt_p^л$	–1,051	1,156	58340	6,94	0,999	40,78	2,776	0,097

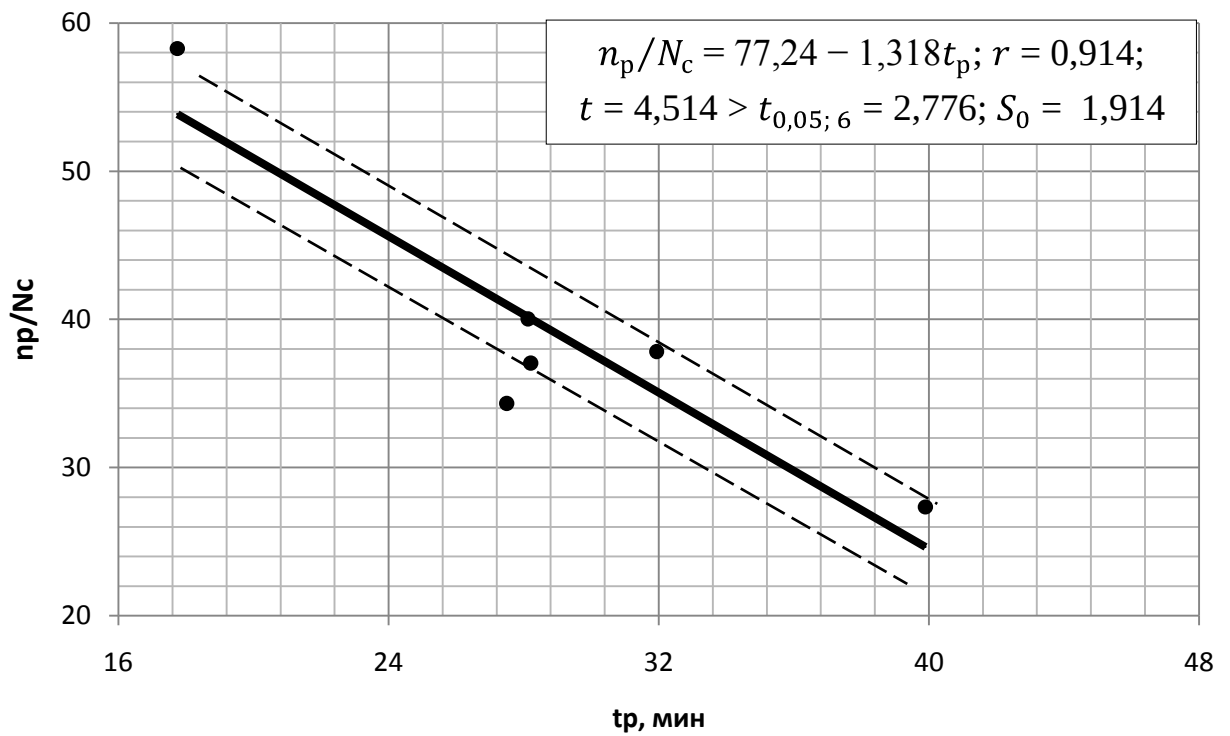


Рисунок 3.3 – Зависимость среднесуточного количества выполненных рейсов от продолжительности рейса самосвала

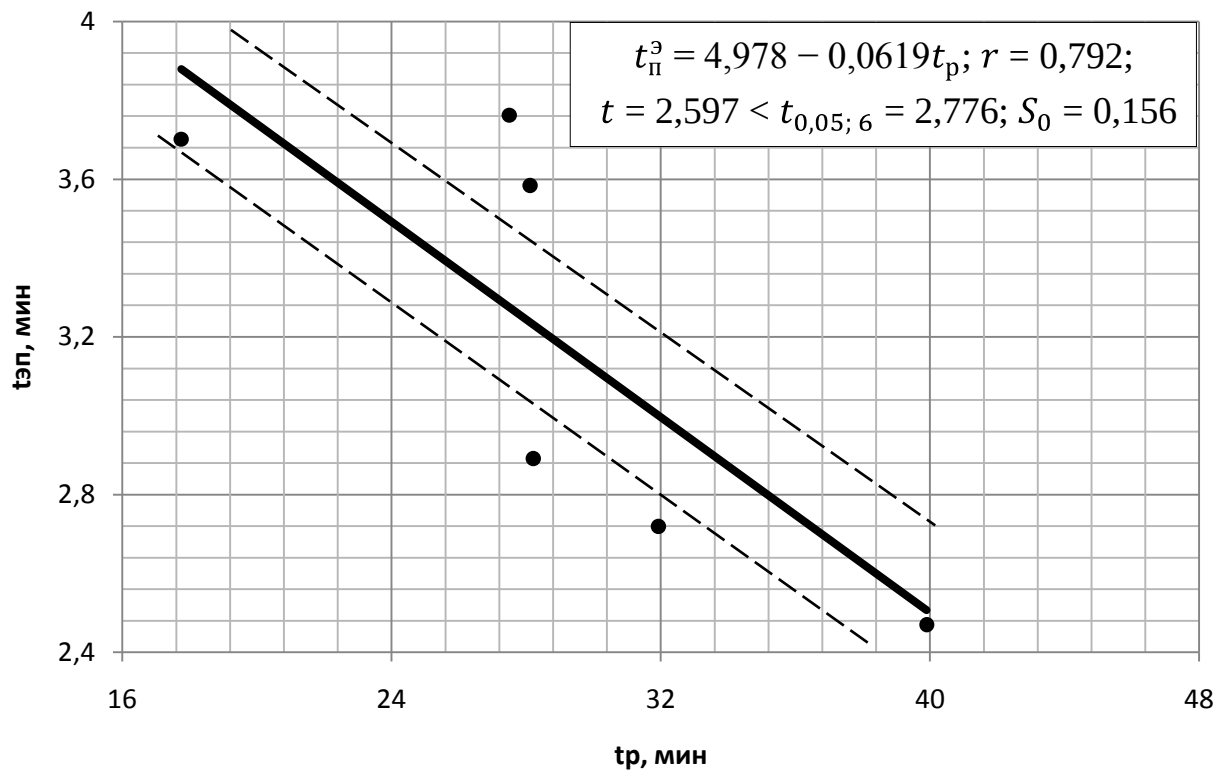


Рисунок 3.4 – Влияние времени загрузки самосвалов экскаваторами на продолжительность рейса самосвалов

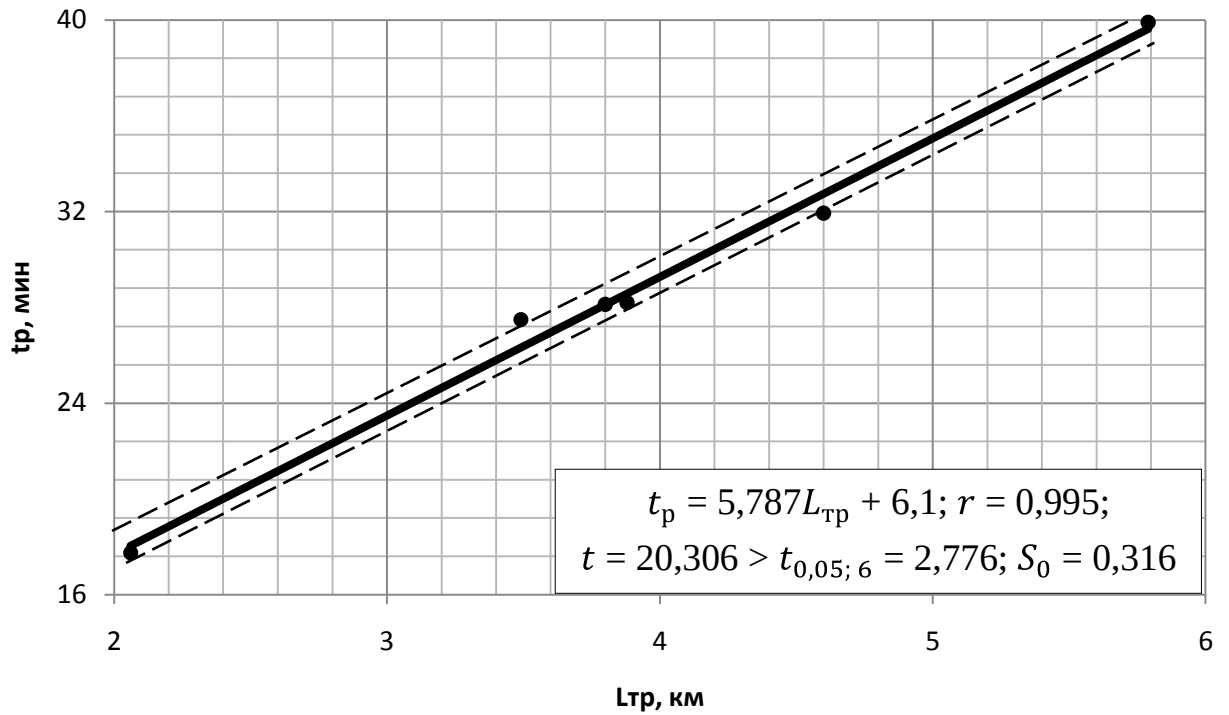


Рисунок 3.5 – Динамика роста продолжительности рейса самосвала с увеличением дальности транспортирования горной массы

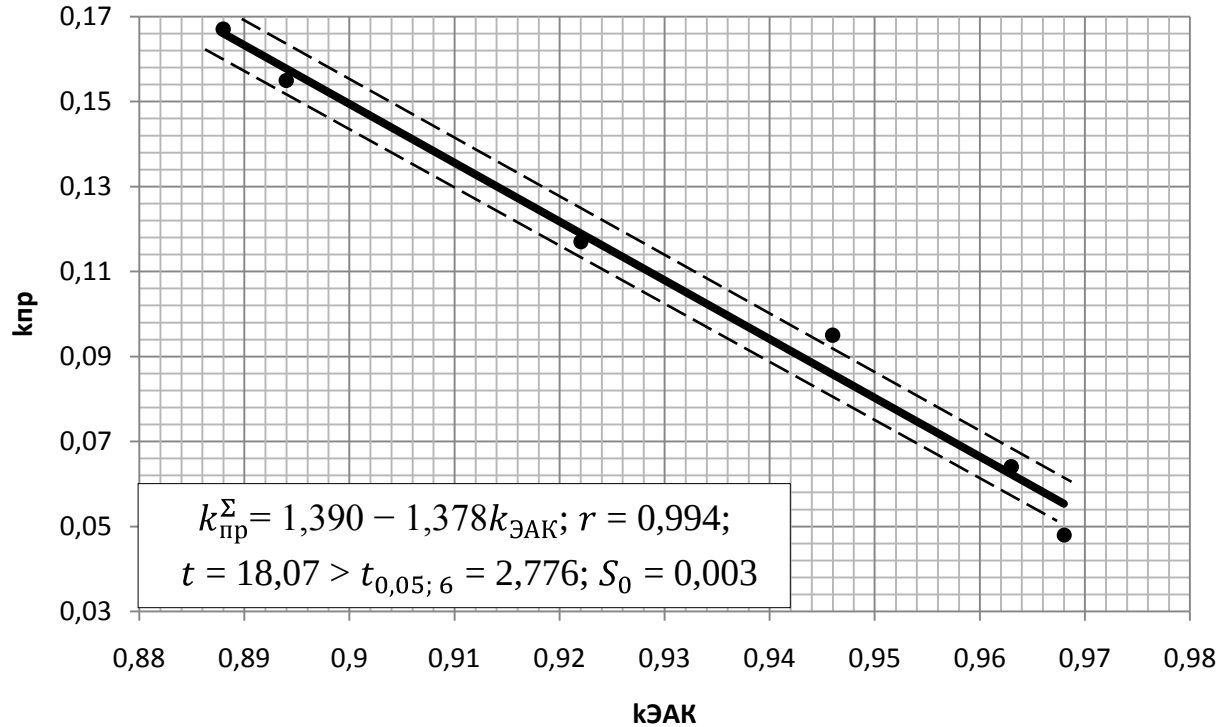


Рисунок 3.6 – Взаимосвязь между коэффициентом эксплуатационной производительности ЭАК и долей простоев в продолжительности рабочей смены

$(k_N - k'_N)$ как средневзвешенное по разрезам значение, то есть $(k_N - k'_N) = \frac{\sum_1^m [(k_N - k'_N)_m \cdot n_{pm}]}{\sum_1^m n_{pm}}$. Исходные данные для расчёта приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Исходные данные для расчёта величины $(k_N - k'_N)$

Разрезы	Показатели		
	k_N	k'_N	$(k_N - k'_N)$
Кедровский	4,364/4,315	3,875	0,489/0,440
Моховский	3,132/3,101	2,800	0,332/0,301
Бачатский	8,074/8,004	7,444	0,630/0,560
Краснобродский	8,006/7,981	7,750	0,256/0,231
Талдинский	6,871/6,835	6,50	0,371/0,335
Калтанский	3,219/3,202	3,10	0,119/0,102

Расчёты показали, что средневзвешенная величина $(k_N - k'_N)$ составляет:

$$k'_N = k_N - 0,357/0,320 - \quad (3.9)$$

для летнего и осенне-весеннего периода соответственно. Подставляем эту величину в выражение (3.8), и получаем зависимость продолжительности рабочей смены $T_{см}$ от времени рейса самосвала t_p и коэффициента эффективного состава парков k_N , причём числитель зависит только от t_p , а знаменатель – от k_N , а значит, показатели можно разделить. Это существенно упростит моделирование.

Обозначим числитель зависимости (3.8) через некую функцию F_t и попробуем её линеаризовать: $F_t = a + bt_p$. Исходные данные для расчёта приведены в таблице 3.3.

Линейной связи между функцией и аргументом в данном случае установить не удаётся. Судя по значениям, функция F_t при любых значениях t_p более или менее постоянна, то есть $F_t = \text{Const}$. Определим это значение, как и в предыдущих случаях, как средневзвешенное по разрезам значение: $F_t = \frac{\sum_1^m F_{tm} \cdot n_{pm}}{\sum_1^m n_{pm}} = 1084,1/1214,0$ мин для летнего и осенне-весеннего периода соответственно.

Таблица 3.3 – Исходные данные для расчёта функций $F_t = a + bt_p$, $F_k = a + bk_N$ и $t_{\Pi}^3 = a + bt_p$

Показатели	Разрезы					
	Кедровский	Моховский	Бачатский	Краснобродский	Талдинский	Калтанский
t_p , мин	$\frac{27,5}{30,8}$	$\frac{17,7}{19,7}$	$\frac{39,9}{45,2}$	$\frac{31,9}{36,1}$	$\frac{28,2}{31,7}$	$\frac{28,1}{31,6}$
F_t	$\frac{1127,4}{1259,6}$	$\frac{955,8}{1051,0}$	$\frac{983,7}{1116,4}$	$\frac{1122,6}{1260,8}$	$\frac{1130,1}{1264,4}$	$\frac{1129,8}{1263,8}$
k_N	$\frac{4,364}{4,315}$	$\frac{3,132}{3,101}$	$\frac{8,074}{8,005}$	$\frac{8,006}{7,973}$	$\frac{6,871}{6,842}$	$\frac{3,219}{3,202}$
F_k	$\frac{3,915}{3,918}$	$\frac{2,647}{2,664}$	$\frac{7,670}{7,644}$	$\frac{7,598}{7,614}$	$\frac{6,459}{6,466}$	$\frac{2,739}{2,770}$
t_{Π}^3 , мин	3,8	3,7	2,5	2,7	2,9	3,6

Величину Π^3 в зависимости для определения удельной производительности ЭАК $\Pi_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}}$ (3.4) также определим как средневзвешенное значение по разрезам. Она равна $\Pi^3 = \frac{\sum_1^m \Pi_m^3 \cdot n_{pm}}{\sum_1^m n_{pm}} = 44,21 \text{ м}^3/\text{мин}$. Поскольку показатель производительности экскаваторного парка Π^3 и количество рейсов самосвалов n_p в разные периоды года не меняются, значение $\Pi^3 = 44,21 \text{ м}^3/\text{мин}$ является общим для обоих периодов. Исходные данные для расчета Π^3 приведены в таблице 3.4.

Подставив полученные значения для Π^3 и F_t в зависимость для $T_{\text{см}}$ из (3.8) и (3.4), получим выражение для удельной сменной производительности ЭАК в зависимости от оптимизируемых параметров (тыс. $\text{м}^3/\text{смену}$ на 1 самосвал):

$$\Pi_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}} = \frac{47,93/53,67}{k_N \left(\frac{k'_N + 1}{k_N} + \frac{1}{k'_N} \right)}. \quad (3.10)$$

Таблица 3.4 – Исходные данные для расчёта показателя производительности экскаваторных парков разрезов, Π^3

Разрезы	Показатели		
	$\Pi_T^3, \text{м}^3/\text{мин}$	n_{pm}	$\Pi_T^3 \cdot n_{pm}, \text{м}^3/\text{мин}$
Кедровский	40,32	1064	42900,48
Моховский	21,14	1632	34500,48
Бачатский	64,19	1833	117660,27
Краснобродский	45,24	3518	159154,32
Талдинский	50,18	3372	169206,96
Калтанский	29,20	1241	36237,20
Сумма по разрезам		12660	559659,71

Аналогично линеаризуем знаменатель зависимости (3.10): $F_k = k_N \left(\frac{k'_N + 1}{k_N} + \frac{1}{k'_N} \right)$.

Исходные данные для расчёта приведены в таблице 3.3, а результаты расчёта и статистической обработки зависимости – в таблице 3.1.

В зависимости для функционального критерия (3.2) $\lambda = \frac{k_N \cdot t_{\Pi}^3}{t_p}$ предположим существование связи между временем загрузки самосвала экскаватором, t_{Π}^3 , и временем рейса t_p . Предпосылкой для такого предположения может служить то, что время погрузки является частью продолжительности рейса самосвала; не ясно только, насколько эта связь сильна. Исходные данные для расчёта приведены в таблице 3.3, результаты расчёта и статистической обработки – в таблице 3.1.

Необходимая теснота связи между параметрами t_{Π}^3 и t_p , проверка которой проведена по t -критерию Стьюдента, не подтверждена (рисунок 3.4), следовательно, оба эти показателя должны оставаться в номенклатуре оптимизируемых параметров. А поскольку статистическая связь между ними всё-таки имеется, так как достоверность зависимости $t_{\Pi}^3 = a + bt_p$ по F -критерию Фишера подтверждается (таблица 3.1), данную зависимость включаем в состав ограничений.

Таким образом, получаем группу из трёх оптимизируемых параметров, один из которых (k_N) является относительным, два (t_{Π}^3 и t_p) – абсолютными. От-

носительный показатель k_N охватывают четыре абсолютных: N_c и N_z (количественный состав автотранспортного и экскаваторного парков в ЭАК), $k_{\text{ЭАК}}$ (коэффициент эксплуатационной производительности ЭАК), который, в свою очередь, включает $t_{\text{пр}}^T$ (суммарные простои техники в течение смены) и $T_{\text{см}}$ (продолжительность рабочей смены).

Для получения целевой функции необходимо установить степень влияния каждого из указанных выше оптимизируемых параметров на комплексный показатель качества работы ЭАК, выбранный в качестве критерия оптимизации. Для этого необходимо установить непосредственную зависимость комплексного показателя качества k от оптимизируемых параметров. В результате должна быть получена полиномиальная регрессионная модель:

$$k = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n + \dots + b_N x_N, \quad (3.11)$$

отражающая влияние каждого из оптимизируемых параметров на критерий оптимизации. В выражении (3.11):

k – комплексный показатель качества (функция отклика);

x_n – нормализованные оптимизируемые параметры (факторы);

b_n – коэффициенты.

Нормализация факторов производится с использованием зависимостей теории планирования эксперимента [111, 112]:

$$x_n = \frac{P_n - P_{n0}}{\Delta P_n},$$

где x_n – кодированное значение фактора;

P_n – натуральное значение фактора (оптимизируемых параметров);

P_{n0} – натуральное значение нулевого уровня;

ΔP_n – интервал варьирования факторов.

Коэффициенты регрессии можно рассчитать по формуле:

$$b_n = \frac{\sum_1^N x_{nk} y_k}{K},$$

где x_{nk} – значение n -й независимой переменной в k -ом опыте;

y_k – значение отклика в k -ом опыте;

K – количество опытов;

N – число переменных.

Оценку адекватности полученной модели можно произвести по F -критерию Фишера, который для случая математического эксперимента, когда понятие параллельных опытов теряет смысл, может быть записан в следующей форме:

$$F = \frac{S_y^2}{S_{\text{ост}}^2} > F_{\text{кр}}(p; f_1; f_2),$$

где $F_{\text{кр}}$ – критическое значение F -критерия Фишера для степени свободы $f_1 = N + 1$ и $f_2 = K - N - 1$ при выбранном уровне значимости p .

Дисперсия выходного параметра относительно среднего вычисляется по формуле:

$$S_y^2 = \frac{\sum_1^K \tilde{y}^2}{N + 1}, \quad (3.12)$$

где $\tilde{y}$ – расчётное значение выходного параметра по уравнению регрессии.

Остаточная дисперсия определяется как

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{\sum_1^K (y - \tilde{y})^2}{K - N - 1}. \quad (3.13)$$

Проверка значимости коэффициентов регрессии производится по t -критерию Стьюдента. Коэффициент регрессии значим, если абсолютная величина коэффициента больше половины доверительного интервала $2\Delta b_n$, где

$$\Delta b_n = t_{\text{кр}}(p; f_2) \cdot S(b_n).$$

Если априори предполагается, что нелинейность в уравнении регрессии отсутствует, дисперсия коэффициентов может быть определена как:

$$S^2(b_n) = \frac{S_{\text{ост}}^2}{K}.$$

Критическое значение $t_{\text{кр}}$ для выбранного уровня значимости p и степени свободы f_2 находится по таблицам.

Полученная в результате регрессионная зависимость позволяет количественно оценить степень влияния каждого из оптимизируемых параметров на комплексный показатель качества работы ЭАК.

При планировании эксперимента важнейшим требованием к факторам является их независимость [111, 112]. Ранее было установлено, что взаимозависимость времени загрузки самосвала экскаватором t_{Π}^3 и продолжительности рейса самосвала t_p не подтверждена. Остальные взаимосвязи между оптимизируемыми параметрами отсутствуют.

Таким образом, получаем группу из трёх не зависящих друг от друга влияющих фактора: $k_N = \frac{N_c}{N_3 \cdot k_{ЭАК}}$, t_{Π}^3 и t_p . Функциональный критерий λ определён зависимостью (3.2).

С учётом вышесказанного уравнение (3.13) примет вид:

$$k = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 -$$

в кодированном, или

$$k = a_0 + a_1 k_N + a_2 t_{\Pi}^3 + a_3 t_p - \quad (3.14)$$

в натуральном масштабе.

Линейная регрессионная зависимость (3.14) устанавливается в результате проведения математического эксперимента, под которым в данном случае понимается расчёт комплексного показателя качества при определённых сочетаниях независимых переменных x_1 , x_2 и x_3 согласно матрице планирования полного факторного эксперимента (ПФЭ), в данном случае, типа 2^3 .

Для определения нулевых уровней P_{n0} и интервалов варьирования факторов ΔP_n должны быть проанализированы диапазоны изменения соответствующих оптимизируемых параметров в характеристиках ЭАК разрезов.

Режимный параметр k_N изменяется в пределах от 3,13/3,10 (разрез «Моховский») до 8,07/8,01 (разрез «Бачатский») для летнего и осенне-весеннего периода соответственно, поэтому принимаем интервал варьирования фактора x_1 (k_N) от 3,0 до 8,0 для обоих периодов.

Время загрузки самосвала экскаватором (режимный параметр t_{Π}^3) изменяется в пределах от 2,5 мин (для разреза «Бачатский») до 3,8 мин (для разреза «Кедровский»). Интервал варьирования фактора x_2 (t_{Π}^3) тогда принимаем в пределах от 2,4 до 3,8 мин.

Продолжительность рейса самосвала t_p изменяется от 17,7/19,7 мин (разрез «Моховский») до 39,9/45,2 мин (разрез «Бачатский») для летнего и осенне-весеннего периода соответственно. Окончательно принимаем интервал варьирования фактора x_3 (t_p) в пределах от 17 до 40 мин для летнего периода, и от 19 до 45 мин – для осенне-весеннего.

Матрица планирования ПФЭ 2^3 для комплексного показателя качества (критерия оптимизации) и ограничений приведена в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Матрица планирования ПФЭ при исследовании формирования комплексного показателя качества и ограничений

Основной уровень	28,5/32	5,5	3,1	
Интервал варьирования	11,5/13	2,5	0,7	
Верхний уровень	40/45	8	3,8	
Нижний уровень	17/19	3	2,4	
Номер опыта	Нормализованные значения			
	x_0	x_1	x_2	x_3
1	+	—	—	—
2	+	+	—	—
3	+	—	+	—
4	+	+	+	—
5	+	—	—	+
6	+	+	—	+
7	+	—	+	+
8	+	+	+	+

Методика проведения эксперимента следующая:

- в соответствии с матрицей планирования эксперимента задаются значения x_1, x_2, x_3 ;
- для данного сочетания факторов по формуле (3.2) рассчитывается значение функционального критерия λ ;

– по формулам методики [60, 61] определяются единичные q_{mn} и комплексный k показатели качества.

Определение единичных показателей качества q_{mn} предполагает использование базовых показателей эталонного разреза. На основе исходных показателей разрезов производится расчёт удельных значений оптимизируемых параметров для разрезов и условий, рассмотренных в главе 2. Их результаты приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Исходные расчётные оптимизируемые параметры экскаваторно-автомобильного комплекса разрезов

Оптимизируемые параметры		Разрезы					
		Кедровский	Моховский	Бачатский	Краснобродский	Талдинский	Калтанский
Коэффициент эффективного состава ЭАК, k_N		<u>4,364</u> 4,318	<u>3,132</u> 3,101	<u>8,074</u> 8,004	<u>8,006</u> 7,981	<u>6,871</u> 6,835	<u>3,219</u> 3,202
Время загрузки, t_{Π}^3 , мин		3,8	3,7	2,5	2,7	2,9	3,6
Продолжительность рейса, t_p , мин		<u>27,5</u> 30,8	<u>17,7</u> 19,7	<u>39,9</u> 45,2	<u>31,9</u> 36,1	<u>28,2</u> 31,7	<u>28,1</u> 31,6
Удельные показатели							
Удельные показатели	$1/k_N \cdot \lambda$	<u>0,384</u> 0,440	<u>0,489</u> 0,553	<u>0,248</u> 0,286	<u>0,183</u> 0,209	<u>0,207</u> 0,227	<u>0,758</u> 0,860
	$1/t_{\Pi}^3 \cdot \lambda$	<u>0,445</u> 0,504	<u>0,415</u> 0,463	<u>0,810</u> 0,926	<u>0,539</u> 0,613	<u>0,491</u> 0,538	<u>0,680</u> 0,769
	t_p/λ	<u>46,06</u> 58,47	<u>27,17</u> 33,76	<u>79,81</u> 103,42	<u>46,82</u> 60,23	<u>40,07</u> 47,82	<u>68,59</u> 87,05

За базовое при этом принимается минимальное значение из таблицы. По аналогии с предыдущими рассуждениями, для сравнения летнего и осенне-весеннего периода в качестве базы принимались значения для летнего периода.

3.3.2 Моделирование ограничений и граничных условий

Оптимизация режимных параметров работы ЭАК предполагает соблюдение следующих ограничений:

- по соответствию фактических значений выходных эксплуатационных показателей ЭАК – λ , $P_{\text{ЭАК}}$ – рекомендованным значениям λ^0 , $P_{\text{ЭАК}}^0$.

Эти ограничения могут быть получены как регрессионные зависимости, связывающие соответствующие выходные эксплуатационные показатели с оптимизируемыми параметрами:

$$\begin{cases} a_{10} + a_{11}k_N + a_{12}t_{\text{п}}^3 + a_{13}t_{\text{р}} = \lambda^0; \\ a_{20} + a_{21}k_N + a_{22}t_{\text{п}}^3 + a_{23}t_{\text{р}} \geq P_{\text{ЭАК}}^0. \end{cases} \quad (3.15)$$

- по взаимосвязи оптимизируемых параметров $t_{\text{п}}^3$ и $t_{\text{р}}$ (уравнение взаимосвязи приведено в таблице 3.1 и на рисунке 3.4);

- граничные условия, отражающие диапазон изменения оптимизируемых параметров.

В пункте 2.2 указывалось, что работу ЭАК следует проектировать так, чтобы функциональный критерий λ стремился к 1. Таким образом, значение $\lambda^0 = 1$ и будет основным требованием по величине функционального критерия.

Поскольку требования по производительности $P_{\text{ЭАК}}^0$ не существует, будем исходить из фактических значений $P_{\text{ЭАК}}$ для разрезов, рассмотренных в главе 2. Результаты расчётов приведены в таблице 3.7.

Значения $P_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}}$, как это следует из таблицы 3.7, обладают разбросом, поэтому необходимо провести статистическую обработку соответствующих данных, чтобы установить зависимость для $P_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}}$. Так как удельная производительность ЭАК $P_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}}$ не зависит от рассматриваемого разреза, она является постоянной

Таблица 3.7 – Результаты расчёта и статистической обработки ограничения по производительности $\Pi_{\text{ЭАК}}$

Разрезы	Исходные данные			Результаты расчёта		
	$\Pi^э,$ м ³ /мин	k_N	$T_{\text{см}},$ мин	$\Pi_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}}$	$\Pi_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}*2}$	$(\Pi_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}} - \overline{\Pi_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}}})^2$
Кедровский	40,32	<u>4,364</u>	<u>1099,2</u>	<u>10,156</u>	$(8,965/10,053)^2 \cdot 6$	<u>1,418</u>
		4,315	1213,0	11,335		1,644
Моховский	21,14	<u>3,132</u>	<u>1208,4</u>	<u>8,156</u>		<u>0,607</u>
		3,101	1321,1	9,007		1,094
Бачатский	64,19	<u>8,074</u>	<u>1197,9</u>	<u>9,523</u>		<u>0,341</u>
		8,005	1342,6	10,767		0,510
Краснобродский	45,24	<u>8,006</u>	<u>1253,3</u>	<u>7,082</u>		<u>3,546</u>
		7,981	1412,3	8,014		4,158
Талдинский	50,18	<u>6,871</u>	<u>1115,4</u>	<u>8,146</u>		<u>0,671</u>
		6,835	1246,2	9,149		0,817
Калтанский	29,20	<u>3,219</u>	<u>1182,2</u>	<u>10,724</u>		<u>3,095</u>
		3,202	1321,5	12,047		3,976
Сумма, Σ				<u>53,787</u>	<u>482,2</u>	<u>9,695</u>
				60,319	606,4	12,200
Среднее значение, $\overline{\Pi_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}}} = \Pi_{\text{ЭАК}}^0$				<u>8,965</u>		<u>1,616</u>
				10,053		2,033
Стандартное отклонение, $S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}}$						1,271/1,426

величиной. Это означает, что в качестве $\tilde{y}$ в формулах (3.12) и (3.13) нужно брать среднее значение показателя $\overline{\Pi_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}}}$ по всем разрезам. Это значение и будет требованием по производительности $\Pi_{\text{ЭАК}}^0$.

Поскольку в зависимостях (3.15) выходные эксплуатационные показатели λ^0 и $\Pi_{\text{ЭАК}}^0$, а также уравнения взаимосвязи оптимизируемых параметров $t_{\text{п}}^{\text{э}}$ и $t_{\text{р}}$ обладают разбросом, определяемым соответствующими значениями стандартных отклонений S_0^{λ} , $S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}}$ и S_0^t , ограничения (3.15) можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned}
|\lambda^0 - a_{10} - a_{11}k_N - a_{12}t_{\Pi}^3 - a_{13}t_p| &\leq S_0^\lambda; \\
|\Pi_{\text{ЭАК}}^0 - a_{20} - a_{21}k_N - a_{22}t_{\Pi}^3 - a_{23}t_p| &\leq S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}}; \\
|(t_{\Pi}^3 \div t_p)^0 - a_{30} - a_{31}k_N - a_{32}t_{\Pi}^3 - a_{33}t_p| &\leq S_0^t.
\end{aligned} \tag{3.16}$$

Каждое ограничение (3.16) может быть разложено на два:

$$\begin{aligned}
a_{10} + a_{11}k_N + a_{12}t_{\Pi}^3 + a_{13}t_p &\geq \lambda^0 - S_0^\lambda; \\
a_{10} + a_{11}k_N + a_{12}t_{\Pi}^3 + a_{13}t_p &\leq \lambda^0 + S_0^\lambda; \\
a_{20} + a_{21}k_N + a_{22}t_{\Pi}^3 + a_{23}t_p &\geq \Pi_{\text{ЭАК}}^0 - S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}}; \\
a_{20} + a_{21}k_N + a_{22}t_{\Pi}^3 + a_{23}t_p &\leq \Pi_{\text{ЭАК}}^0 + S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}}; \\
a_{30} + a_{31}k_N + a_{32}t_{\Pi}^3 + a_{33}t_p &\geq (t_{\Pi}^3 \div t_p)^0 - S_0^t; \\
a_{30} + a_{31}k_N + a_{32}t_{\Pi}^3 + a_{33}t_p &\leq (t_{\Pi}^3 \div t_p)^0 + S_0^t.
\end{aligned} \tag{3.17}$$

В качестве граничных условий может быть задано только условие их неотрицательности, то есть $k_N \geq 0$; $t_{\Pi}^3 \geq 0$; $t_p \geq 0$.

Таким образом, в результате исследований получена математическая модель оптимизации (ММО) режимных параметров работы ЭАК [129]:

$$\begin{aligned}
k &= a_0 + a_1k_N + a_2t_{\Pi}^3 + a_3t_p \rightarrow \max; \\
a_{11}k_N + a_{12}t_{\Pi}^3 + a_{13}t_p &\geq \lambda^0 - S_0^\lambda - a_{10}; & \text{а)} \\
a_{11}k_N + a_{12}t_{\Pi}^3 + a_{13}t_p &\leq \lambda^0 + S_0^\lambda - a_{10}; & \text{б)} \\
a_{21}k_N + a_{22}t_{\Pi}^3 + a_{23}t_p &\geq \Pi_{\text{ЭАК}}^0 - S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}} - a_{20}; & \text{в)} \\
a_{21}k_N + a_{22}t_{\Pi}^3 + a_{23}t_p &\leq \Pi_{\text{ЭАК}}^0 + S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}} - a_{20}; & \text{г)} \\
a_{31}k_N + a_{32}t_{\Pi}^3 + a_{33}t_p &\geq (t_{\Pi}^3 \div t_p)^0 - S_0^t - a_{30}; & \text{д)} \\
a_{31}k_N + a_{32}t_{\Pi}^3 + a_{33}t_p &\leq (t_{\Pi}^3 \div t_p)^0 + S_0^t - a_{30}; & \text{е)} \\
k_N &\geq 0; t_{\Pi}^3 \geq 0; t_p \geq 0.
\end{aligned} \tag{3.18}$$

Математическая модель (3.18) является задачей линейного программирования (ЗЛП).

ВЫВОДЫ

1. Традиционный подход при проектировании карьерных ЭАК, основанный на независимом рассмотрении отдельных составляющих системы, не позволяет обеспечить действительно высокое качество функционирования ЭАК из-за отсутствия оптимальной сбалансированности характеризующих его параметров.

2. Серьёзным средством повышения качества работы ЭАК является его оптимизация, основанная на системном подходе, согласно которому работа составных элементов комплекса изучается путём анализа функционирования ЭАК в целом. Применительно к оптимизации параметров ЭАК системный подход заключается в оптимальном согласовании их между собой при условии соответствия требованиям, предъявляемым к функционированию ЭАК.

3. На основе системного подхода и методов интегральной оценки качества разработана математическая модель оптимизации работы ЭАК, которая представляется в виде линейных уравнений регрессионного анализа, непосредственно связывающих соответствующие выходные эксплуатационные показатели с оптимизируемыми параметрами, и позволяет установить оптимальные значения параметров, достижение которых обеспечивает оптимальный уровень качества работы действующих и вновь проектируемых ЭАК.

4. В качестве критерия оптимизации целесообразно использовать комплексные оценки, а в качестве оптимизируемых параметров – основные параметры ЭАК, определяющие функциональный критерий и производительность ЭАК. Это позволяет получить наибольшую степень согласованности оптимизируемых параметров между собой.

4 ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО РАБОТЫ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

4.1 Формирование математической модели оптимизации

4.1.1 Определение констант целевой функции

Для простоты изложения первоначально рассмотрим летний период года. Для установления констант a_0, a_1, a_2, a_3 (зависимость 3.14) линейной модели целевой функции k (зависимость 3.18) по описанной выше методике был проведён математический эксперимент. Результаты математического эксперимента и статистического анализа полученной модели приведены в таблицах 4.1–4.2.

Таблица 4.1 – Результаты эксперимента по формированию целевой функции k

Номер опыта	Исходные параметры			Функциональный критерий, λ	Удельные значения			Целевая функция, k
	k_N	t_{Π}^3	t_p		$\frac{1}{k_N \cdot \lambda}$	$\frac{1}{t_{\Pi}^3 \cdot \lambda}$	$\frac{t_p}{\lambda}$	
1	3	2,4	17	0,424	0,786	0,983	40,09	0,426
2	8	2,4	17	1,129	0,111	0,369	15,06	1,545
3	3	3,8	17	0,671	0,497	0,392	25,34	0,819
4	8	3,8	17	1,788	0,070	0,147	9,508	2,830
5	3	2,4	40	0,180	1,852	2,315	222,2	0,134
6	8	2,4	40	0,480	0,260	0,868	83,33	0,494
7	3	3,8	40	0,285	1,170	0,923	140,35	0,247
8	8	3,8	40	0,760	0,164	0,346	52,63	0,929

Полученные коэффициенты регрессии позволяют определить характер и степень влияния исследуемых факторов на функцию отклика (критерий оптимизации k). Таким образом, имеем следующую математическую модель целевой функции [114]:

$$k = -0,268 + 0,209k_N + 0,397t_{\Pi}^3 - 0,0415t_p \rightarrow \max. \quad (4.1)$$

Таблица 4.2 – Результаты статистического анализа моделей целевой функции

Коэффициенты регрессии в кодированном/натуральном масштабе				Статистические характеристики					
b_0/a_0	b_1/a_1	b_2/a_2	b_3/a_3	S_y^2	$S_{ост}^2$	F	$F_{кр}$	Δb	S_0
$\frac{0,928}{-0,268}$	$\frac{0,5215}{0,209}$	$\frac{0,278}{0,397}$	$\frac{-0,477}{-0,0415}$	2,884	0,2323	12,41	6,39	0,432	0,170

4.1.2 Моделирование ограничений

Для установления вида зависимостей а) и б) в (3.18), как и при определении вида целевой функции k , также необходимо провести математический эксперимент.

Ограничение по функциональному критерию. Функциональный критерий в соответствии с формулой (3.14) можно записать в виде:

$$\lambda = \frac{k_N \cdot t_{\Pi}^3}{t_p} = \lambda^0. \quad (4.2)$$

Математический эксперимент по формированию линейной модели ограничения по функциональному критерию был проведён при формировании модели целевой функции (таблица 4.1). Результаты статистического анализа модели функционального критерия приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты статистического анализа модели ограничения по функциональному критерию λ

Коэффициенты регрессии в кодированном/натуральном масштабе				Статистические характеристики					
b_0/a_0	b_1/a_1	b_2/a_2	b_3/a_3	S_y^2	$S_{ост}^2$	F	$F_{кр}$	Δb	S_0
$\frac{0,715}{0}$	$\frac{0,325}{0,130}$	$\frac{0,161}{0,230}$	$\frac{-0,288}{-0,025}$	1,452	0,0553	26,26	6,39	0,231	0,083

Линейная модель функционального критерия будет иметь вид:

$$\lambda = 0,130k_N + 0,230t_{\Pi}^3 - 0,0250t_p = \lambda^0 \pm S_0^\lambda, \quad (4.3)$$

где S_0^λ – стандартное отклонение уравнения (4.3).

Полученная модель позволяет определить степень влияния исследуемых факторов k_N , t_{Π}^3 и t_p на функциональный критерий λ . Разложив неравенство (4.3) на два, получим:

$$\begin{cases} 0,130k_N + 0,230t_{\Pi}^3 - 0,0250t_p \geq 0,917; \\ 0,130k_N + 0,230t_{\Pi}^3 - 0,0250t_p \leq 1,083, \end{cases} \quad (4.4)$$

с учётом того, что $\lambda^0 = 1,0$; $S_0^\lambda = 0,083$ (таблица 4.3).

Эти зависимости составляют ограничения а) и б) в системе (3.18).

Ограничение по производительности. Удельная сменная эксплуатационная производительность в соответствии с формулой (3.10) с использованием данных таблицы 3.1, и третьим и четвёртым ограничениями в системе (3.17) можно записать в виде:

$$\Pi_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}} = \frac{47,93}{1,0155k_N - 0,527 \pm S_0^{F_k}} = \Pi_{\text{ЭАК}}^0 \pm S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}}, \quad (4.5)$$

где $S_0^{F_k} = 0,003$ – стандартное отклонение уравнения $F_k = 1,0155k_N - 0,527$ (таблица 3.1);

$S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}} = 1,271$ – стандартное отклонение зависимости $\Pi_{\text{ЭАК}}^0 = 8,965$ тыс. м³/смену на один самосвал (таблица 3.9).

Подставляя эти значения в выражение (4.5) и проводя преобразования, получаем:

$$\begin{cases} k_N \geq 5,124; \\ k_N \leq 6,653. \end{cases}$$

Эти неравенства составляют ограничения в) и г) в системе (3.18). Проведения математического эксперимента здесь не потребовалось.

Ограничение по взаимосвязи переменных t_{Π}^3 и t_p . Линейной моделью данного ограничения является зависимость: $t_{\Pi}^3 = 4,978 - 0,0619t_p$ (таблица 3.1 и рису-

нок 3.4). Стандартное отклонение этого уравнения составляет $S_0^t = 0,156$ мин. Имеем $t_{\Pi}^3 + 0,0619t_p = 4,978 \pm 0,156$, откуда

$$\begin{cases} t_{\Pi}^3 + 0,0619t_p \geq 4,822; \\ t_{\Pi}^3 + 0,0619t_p \leq 5,134. \end{cases}$$

Данные неравенства являются ограничениями д) и е) в составе ММО (3.18). Как и в предыдущем случае, проведения математического эксперимента здесь не потребовалось, поскольку переменные t_{Π}^3 и t_p можно разделить.

Таким образом, ММО (3.18) можно записать в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} k = -0,268 + 0,209k_N + 0,397t_{\Pi}^3 - 0,0415t_p \rightarrow \max; \\ 0,130k_N + 0,230t_{\Pi}^3 - 0,0250t_p \geq 0,917; \\ 0,130k_N + 0,230t_{\Pi}^3 - 0,0250t_p \leq 1,083; \\ t_{\Pi}^3 + 0,0619t_p \geq 4,822; \\ t_{\Pi}^3 + 0,0619t_p \leq 5,134; \\ k_N \geq 5,124; \\ k_N \leq 6,653; \\ k_N \geq 0; t_{\Pi}^3 \geq 0; t_p \geq 0. \end{array} \right. \quad (4.6)$$

В результате исследования математической модели оптимизации (4.6) будут получены оптимальные значения параметров k_N , t_{Π}^3 и t_p , из которых в дальнейшем могут быть синтезированы оптимальные параметры и показатели работы ЭАК разрезов [114].

4.2 Исследование математической модели оптимизации

4.2.1 Решение задачи оптимизации

Несмотря на то, что для решения ЗЛП используется симплекс-метод, для которого существует стандартный алгоритм и вычислительные программы, мы из-за существования множества интересных исследовательских моментов в работе используем алгоритм немашинного решения ЗЛП.

Стандартная ЗЛП включает целевую функцию и ограничения, записанные в виде уравнений [115]. Любая ЗЛП приводится к стандартной форме путём введения дополнительных переменных.

Запишем модели ограничений из ММО (4.6) в виде следующих уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{ll} k = -0,268 + 0,209k_N + 0,397t_{\Pi}^3 - 0,0415t_p \rightarrow \max; & \\ 0,130k_N + 0,230t_{\Pi}^3 - 0,0250t_p - y_1 = 0,917; & \text{а)} \\ 0,130k_N + 0,230t_{\Pi}^3 - 0,0250t_p + y_2 = 1,083; & \text{б)} \\ t_{\Pi}^3 + 0,0619t_p - y_3 = 4,822; & \text{в)} \\ t_{\Pi}^3 + 0,0619t_p + y_4 = 5,134; & \text{г)} \\ k_N - y_5 = 5,124; & \text{д)} \\ k_N + y_6 = 6,653; & \text{е)} \\ k_N \geq 0; t_{\Pi}^3 \geq 0; t_p \geq 0. & \end{array} \right. \quad (4.7)$$

Общее число переменных в системе (4.7) – 9, из которых 3 – количество основных переменных (k_N, t_{Π}^3, t_p); и 6 – дополнительных переменных ($y_1, y_2, \dots, y_6$). Все переменные разделяют, с одной стороны, на основные и дополнительные, с другой – на базисные и свободные, причём свободные переменные должны быть равны нулю. Из теории [115] известно, что в допустимом решении должно быть равно нулю ровно столько переменных, сколько имеется основных переменных. Однако это не значит, что это будут именно основные переменные. Поэтому целью решения ЗЛП симплекс-методом является нахождение базисных и свободных переменных. Поскольку количество основных переменных в системе (4.7) три, следовательно, столько должно быть свободных переменных. Остальные шесть переменных будут базисными.

Первоначально в системе (4.7) все основные переменные (k_N, t_{Π}^3, t_p), а также дополнительные переменные, входящие в уравнения со знаком «–», будем считать базисными. Проводим элементарные преобразования, выражая базисные переменные через основные. Получаем:

$$k_N = 6,653 - (y_6);$$

$$t_{II}^3 = 3,6 - (1,578y_2 + 0,637y_4 - 0,205y_6);$$

$$t_p = 24,5 - (-25,489y_2 + 5,860y_4 + 3,313y_6);$$

$$y_1 = 0,166 - (y_2);$$

$$y_3 = 0,312 - (y_4);$$

$$y_5 = 1,529 - (y_6).$$

$$k = 1,370 - (1,684y_2 + 0,00980y_4 - 0,00990y_6) \rightarrow \max.$$

В результате получаем систему (4.7) в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} k = 1,370 - (1,684y_2 + 0,00980y_4 - 0,00990y_6) \rightarrow \max; \\ k_N = 6,653 - (y_6); \\ t_{II}^3 = 3,6 - (1,578y_2 + 0,637y_4 - 0,205y_6); \\ t_p = 24,5 - (-25,489y_2 + 5,860y_4 + 3,313y_6); \\ y_1 = 0,166 - (y_2); \\ y_3 = 0,312 - (y_4); \\ y_5 = 1,529 - (y_6). \end{array} \right. \quad (4.8)$$

Систему (4.8) можно представить в виде симплекс-таблицы [115], которая является основой для решения ЗЛП.

Исходная симплекс-таблица из системы (4.8) приведена в таблице 4.4.

При этом признаком оптимального решения в случае максимизации целевой функции является то, что все члены в столбце свободных членов будут положительными (признак допустимого решения), а также в строке целевой функции все элементы также положительны (признак оптимального решения) [115].

Таблица 4.4 не удовлетворяет признаку оптимального решения, поэтому по специальному алгоритму симплекс-метода [115] производится обмен переменных. Каждый обмен (итерация) состоит в том, что одна базисная переменная переводится в число свободных, а «лишняя» свободная переменная становится базисной. Такая процедура продолжается до тех пор, пока оба вышеназванных признака не будут удовлетворены.

Таблица 4.4 – Исходная симплекс-таблица

Величина	Свободный член	Свободные переменные		
		y_2	y_4	y_6
k	1,370	1,684	0,00980	–0,00990
Базисные переменные				
k_N	6,653	0	0	1
$t_{\Pi}^{\text{э}}$	3,6	1,578	0,637	–0,205
t_p	24,5	–25,489	5,860	3,313
y_1	0,166	1	0	0
y_3	0,312	0	1	0
y_5	1,529	0	0	1

Применительно к рассматриваемой ЗЛП последняя симплекс-таблица, представленная в таблице 4.5, получена после одной итерации.

Таблица 4.5 – Оптимальная симплекс-таблица

Величина	Свободный член	Свободные переменные		
		y_2	y_4	y_5
k	1,385	1,684	0,00980	0,00990
Базисные переменные				
k_N	5,124	0	0	–1
$t_{\Pi}^{\text{э}}$	3,9	1,578	0,637	0,205
t_p	19,5	–25,489	5,860	–3,313
y_1	0,166	1	0	0
y_3	0,312	0	1	0
y_6	1,529	0	0	1

Таким образом, оптимальными являются следующие значения основных переменных (параметров ЭАК), а также функционального критерия и комплексного показателя качества:

$$k_N^* = 5,124; \quad t_{\Pi}^{\text{э}*} = 3,9 \text{ мин}; \quad t_p^* = 19,5 \text{ мин}; \quad \lambda^* = 1,034; \quad k^* = 1,385, \quad (4.9)$$

где $\lambda^* = k_N^* \cdot t_{\Pi}^{\Delta*} / t_p^*$.

Анализ симплекс-таблицы 4.5 показывает, что из всех дополнительных переменных (их шесть), введённых в ограничения по функциональному критерию, сменной производительности ЭАК и взаимосвязи оптимизируемых параметров t_{Π}^{Δ} и t_p ($y_1, y_2, \dots, y_6$), три (y_1, y_3 и y_6) не являются свободными, а значит, не равны нулю, и их величины составляют: $y_1 = 0,166$; $y_3 = 0,312$; $y_6 = 1,529$. Их величина представляет собой запас по ограничениям по функциональному критерию (y_1), взаимосвязи параметров t_{Π}^{Δ} и t_p (y_3) и производительности ЭАК (y_6).

Согласно теореме о двойственности ЗЛП [131], если дополнительная переменная является базисной, то её двойственная оценка, отражающая влияние на целевую функцию изменения ограничения, для которого введена эта дополнительная переменная, равна нулю. При этом прямые (не двойственные) оценки базисных переменных не равны нулю. И наоборот, если дополнительная переменная является свободной, то её двойственная оценка не равна нулю. Она может быть определена по оптимальной симплекс-таблице на пересечении строки целевой функции со столбцом данной дополнительной переменной. Так, для верхнего ограничения по функциональному критерию при $y_2 = 0$ двойственная оценка равна 1,684; для верхнего ограничения по взаимосвязи параметров t_{Π}^{Δ} и t_p при $y_4 = 0$ двойственная оценка составляет 0,00980, а для нижнего ограничения по производительности ЭАК при $y_5 = 0$ – 0,00990 (верхним ограничениям в системе 4.7 соответствуют чётные индексы при y , нижним – нечётные). Это означает, что при ужесточении требования по производительности ЭАК $\sum S_0^{\Pi}$ и взаимосвязи параметров t_{Π}^{Δ} и t_p $\sum S_0^t$ на единицу комплексный показатель качества k уменьшится соответственно на 0,00990 и 0,00980, то есть на 0,7%; при ужесточении требования по функциональному критерию $\sum S_0^{\lambda}$ на 0,1 (в сопоставимых с $\sum S_0^{\Pi}$ и $\sum S_0^t$ единицах) – на 0,168 (12,2%). Это означает, что ограничение по функциональному критерию в 17,5 раз более значимо, чем ограничение по производительности и взаимосвязи параметров, которые в данном случае равнозначны.

4.2.2 Определение пределов изменения оптимизируемых параметров

Чтобы определить диапазоны, в пределах которых действуют указанные двойственные оценки, в ММО необходимо ввести следующие изменения. Поскольку ограничения по производительности ЭАК $\Pi_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}}$ и взаимосвязи показателей $(t_{\text{п}}^3 \div t_{\text{р}})$ устанавливались без проведения математического эксперимента, будем рассматривать их и ограничение по функциональному критерию λ , полученное в результате математического эксперимента, отдельно.

Ограничения по производительности. Ограничения по производительности ЭАК из (4.5) запишем в виде:

$$\begin{aligned} \frac{47,93}{\Pi_{\text{ЭАК}}^0 - (S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}} - \Delta S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}})} &\geq 1,0155k_N - 0,527 - S_0^{F_k}; \\ \frac{47,93}{\Pi_{\text{ЭАК}}^0 + (S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}} - \Delta S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}})} &\leq 1,0155k_N - 0,527 + S_0^{F_k}, \end{aligned}$$

откуда

$$\begin{aligned} 1,0155k_N - 0,524 &\geq \frac{47,93}{\Pi_{\text{ЭАК}}^0 - (S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}} - \Delta S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}})}; \\ 1,0155k_N - 0,530 &\leq \frac{47,93}{(\Pi_{\text{ЭАК}}^0 + S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}}) - \Delta S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}}}, \end{aligned} \quad (4.10)$$

где $\Pi_{\text{ЭАК}}^0 = 8,965$ тыс. м³/смену на один самосвал; $S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}} = 1,271$ тыс. м³/смену на один самосвал (таблица 3.9).

В результате ограничения (4.10) примут вид:

$$\begin{aligned} 1,0155k_N - 0,524 &\geq \frac{47,93}{4,482 + \Delta S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}}}; \\ 1,0155k_N - 0,530 &\leq \frac{47,93}{6,229 - \Delta S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}}}, \end{aligned} \quad (4.11)$$

Заменяем два последних ограничения системы (4.6) на (4.11) и проводим все последующие преобразования, получим последнюю симплекс-таблицу в том же виде, что и в таблице 4.5, с тем лишь исключением, что свободные члены в ней

будут равны свободным членам из таблицы 4.5, к которым прибавлены элементы столбца y_5 , умноженные на $(-\Delta S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}})$.

В результате получим систему:

$$\begin{cases} b_k = 5,124 + \Delta S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}} \geq 0; \\ b_{t_{\Pi}} = 3,929 - 0,205\Delta S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}} \geq 0; \\ b_{t_p} = 19,47 + 3,313\Delta S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}} \geq 0; \\ b_{y_5} = 1,529 - \Delta S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}} \geq 0, \end{cases}$$

которая имеет следующее решение:

$$1,529 \geq \Delta S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}} \geq 0.$$

Ограничения по взаимосвязи параметров t_{Π}^3 и t_p . Исходные зависимости

$$\begin{cases} t_{\Pi}^3 + 0,0619t_p - y_3 = 4,822 + \Delta S_0^t; \\ t_{\Pi}^3 + 0,0619t_p + y_4 = 5,134 - \Delta S_0^t, \end{cases}$$

дают следующую систему для свободных членов:

$$\begin{cases} b_{t_{\Pi}} = 3,929 - 0,637\Delta S_0^t \geq 0; \\ b_{t_p} = 19,47 + 25,489\Delta S_0^t \geq 0; \\ b_{y_3} = 0,312 - \Delta S_0^t \geq 0, \end{cases}$$

из которой следует, что

$$0,312 \geq \Delta S_0^t \geq 0.$$

Ограничения по функциональному критерию. По аналогии с предыдущими рассуждениями запишем ограничения по функциональному критерию (ограничения а) и б) в системе 4.7) в виде:

$$\begin{cases} 0,130k_N + 0,230t_{\Pi}^3 - 0,0250t_p - y_1 = 0,917 + \Delta S_0^{\lambda}; \\ 0,130k_N + 0,230t_{\Pi}^3 - 0,0250t_p + y_2 = 1,083 - \Delta S_0^{\lambda}, \end{cases}$$

и, проведя все последующие преобразования, получим:

$$\begin{cases} b_{t_{\Pi}} = 3,929 - 1,578\Delta S_0^{\lambda} \geq 0; \\ b_{t_p} = 19,47 + 25,489\Delta S_0^{\lambda} \geq 0; \\ b_{y_1} = 0,166 - \Delta S_0^{\lambda} \geq 0, \end{cases}$$

откуда следует, что

$$0,166 \geq \Delta S_0^\lambda \geq 0.$$

Таким образом, изменение ограничений в пределах

$$\begin{cases} 0,166 \geq \Delta S_0^\lambda \geq 0; \\ 0,312 \geq \Delta S_0^t \geq 0; \\ 1,529 \geq \Delta S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}} \geq 0 \end{cases} \quad (4.12)$$

не меняет структуры оптимального решения, то есть изменение ограничений в указанных пределах не требует изменения вида и констант ММО (4.6).

По допустимым пределам изменения ограничений (4.12) можно определить их значимость. Для этого значение соответствующего ΔS из (4.12) умножается на соответствующий коэффициент в строке целевой функции k из таблицы 4.5. Получим:

- ограничение по функциональному критерию λ : $1,684 \cdot 0,166 = 0,280$;
- ограничение по взаимосвязи показателей t_π^3 и t_p : $0,00980 \cdot 0,312 = 0,00316$;
- ограничение по производительности $\Pi_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}}$: $0,00990 \cdot 1,529 = 0,0151$.

Эти цифры означают, что максимальное ужесточение ограничения по функциональному критерию λ приведёт к снижению оптимального значения целевой функции (комплексного показателя качества k) на 0,280, то есть с 1,385 до 1,105 (на 20,2%); предельное ужесточение ограничения по взаимосвязи параметров t_π^3 и t_p – к снижению комплексного показателя k на 0,003 (с 1,385 до 1,382; на 0,22%); ограничения по производительности ЭАК $\Pi_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}}$ – на 0,015 (с 1,385 до 1,370; 1,1%). Отсюда следует, что влияние на целевой критерий k ограничения по функциональному критерию λ в 18,4 раза более значимо, чем ограничения по производительности $\Pi_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}}$, и в 92 раза – чем влияние ограничения по взаимосвязи параметров ($t_\pi^3 \div t_p$).

Предельное ужесточение всех ограничений приведёт к ухудшению качества на $0,280 + 0,003 + 0,015 = 0,298$ ед., то есть значение k будет составлять: $1,385 - 0,298 = 1,087$. Это на 19,1% выше показателя лучшего разреза «Красно-

бродский» ($k = 0,879$), и на 34,2% лучше, чем в целом по УК «Кузбассразрез-уголь» ($k = 0,614$).

Аналогично, используя данные симплекс-таблицы 4.5, можно определить пределы изменения оптимизируемых параметров k_N , t_{Π}^3 и t_p .

Значение k_N , как это следует из оптимальной симплекс-таблицы 4.5, может быть только увеличено на 1,529 ед., то есть с $k_N = 5,124$ до $k_N = 6,653$ (на 23,0%) за счёт изменения ограничения по производительности ЭАК, и структура оптимального решения при этом не меняется. Другие ограничения на величину k_N влияния не оказывают. Таким образом, оптимальное значение $k_N^* = 6,653$ – это из условия данной задачи максимально возможное значение. Однако, если значение k_N увеличено до 6,653, изменятся и другие оптимизируемые параметры: t_{Π}^3 будет составлять: $3,929 - 0,205 \cdot 1,529 = 3,6$ мин, а $t_p = 19,467 + 3,313 \cdot 1,491 = 24,5$ мин.

Такая же, только обратная, ситуация складывается и с параметром t_{Π}^3 , за исключением того лишь, что на величину t_{Π}^3 оказывают влияние все ограничения. Значение t_{Π}^3 может быть только уменьшено. Суммарно это составляет: $1,578 \cdot 0,166 + 0,637 \cdot 0,312 + 0,205 \cdot 1,529 = 0,8$, в том числе за счёт изменения требования по функциональному критерию – на 0,3 ($3,929 - 0,262 = 3,7$ мин); по взаимосвязи параметров t_{Π}^3 и t_p – на 0,2 ($3,7 - 0,2 = 3,5$ мин); по производительности ЭАК – на 0,3 ($3,5 - 0,3 = 3,2$ мин). Таким образом, значение t_{Π}^3 может быть максимально уменьшено с 3,9 до 3,2 мин (на 19,8%) без изменения структуры оптимального решения. При этом ужесточение ограничения по производительности ЭАК $P_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}}$ для параметра t_{Π}^3 в 1,2 раза более значимо, чем ограничения по функциональному критерию λ , и в 1,6 раза – чем ограничения по взаимосвязи параметров t_{Π}^3 и t_p .

Продолжительность рейса самосвала t_p в отличие от двух других оптимизируемых параметров может быть и уменьшено, и увеличено (значения свободных переменных y_2 , y_4 , y_5 в таблице 4.5 и положительны и отрицательны). Уменьшено оно может быть за счёт изменения ограничения по взаимосвязи параметров t_{Π}^3 и t_p , а увеличено – за счёт изменения ограничений по функциональному критерию λ и производительности ЭАК $P_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}}$. Значение продолжительности рейса t_p

может быть максимально уменьшено по сравнению с оптимальным значением $t_p^* = 19,5$ мин на $5,860 \cdot 0,312 = 1,9$ (то есть с 19,5 до 17,6 мин), но и максимально увеличено на $25,489 \cdot 0,166 + 3,313 \cdot 1,529 = 9,3$ (то есть с 19,5 до 28,8 мин). Максимально возможное значение продолжительности рейса, исходя из условий данной задачи, может составлять $t_p^{max} = 28,8$ мин.

Таким образом, оптимизируемые параметры могут изменяться в пределах:

$$\begin{cases} k_N = 5,124 \div 6,653; \\ t_{\Pi}^3 = 3,2 \div 3,9; \\ t_p = 17,6 \div 28,8, \end{cases} \quad (4.13)$$

и это не повлияет на структуру оптимального решения. Изменяться может только соотношение оптимизируемых параметров, величина функционального критерия λ^* и комплексный показатель качества функционирования ЭАК k^* . Значения оптимизируемых параметров, выходящие за пределы указанных диапазонов (4.13), не являются оптимальными, поскольку не отвечают существующим взаимосвязям режимных параметров работы ЭАК, то есть принципу системности.

При изменении горнотехнических условий разрезов (количественный и типоразмерный состав парков техники, расстояния транспортирования, уровень простоев, и т.п.) оптимальное решение (4.13) может корректироваться.

Оптимальное решение (4.9) имеет то преимущество, что требует меньшего количества самосвалов для обслуживания имеющихся экскаваторов. Поскольку этого можно достичь за счёт большей оборачиваемости самосвалов, за это нужно «заплатить» весьма жёстким с точки зрения возможности достижения значением продолжительности рейса: $t_p^* = 19,5$ мин. Такое значение t_p в настоящее время достигнуто только на одном разрезе «Моховский» ($t_p = 17,7$ мин), но расстояние транспортирования $L_{тр}$ на этом разрезе составляет всего 2,06 км (таблица 2.2). На всех остальных разрезах расстояние транспортирования гораздо больше (от 3,49 км на разрезе «Кедровский» до 5,79 км на разрезе «Бачатский»).

В то же время, если оптимальным считать значение k_N , равное не 5,124, а 6,653 (таблица 4.4), то ему будет соответствовать значение $t_{\Pi}^3 = 3,6$ мин, и

$t_p = 24,5$ мин. Значение функционального критерия λ будет составлять уже не 1,034, как при оптимальном решении, а $6,653 \cdot 3,616 / 24,533 = 0,981$ (на 5,1% ниже). Значение комплексного показателя качества k при этом будет составлять не 1,385, а 1,370, то есть на 1,3% ниже, что с практической точки зрения незначительно.

Тогда оптимальными будут следующие значения оптимизируемых параметров и целевого критерия:

$$k_N^* = 6,653; t_{\Pi}^{\exists} = 3,6 \text{ мин}; t_p^* = 24,5 \text{ мин}; \lambda^* = 0,981; k^* = 1,370. \quad (4.14)$$

Решение (4.14) представляется более приемлемым. Оно не является строго оптимальным ($k = 1,370$ вместо $k^* = 1,385$), однако это снижение целевого критерия не существенно. Несколько снижается и значение функционального критерия (с $\lambda^* = 1,034$ до $\lambda = 0,981$), что всё равно близко к идеальному значению ($\lambda = 1,0$). При этом ещё и остаётся запас для увеличения допустимой продолжительности рейса t_p . Она теперь составляет $t_p = 24,5$ мин, что уже ближе к фактическим значениям этого показателя на разрезах «Кедровский», «Талдинский» и «Калтанский».

При необходимости значениями оптимизируемых параметров в пределах диапазонов (4.13) можно варьировать, однако не произвольно, а с учётом взаимосвязей, зафиксированных в оптимальной симплекс-таблице 4.4 или 4.5.

Определившись с необходимым значением показателя k_N (очевидно, его следует принимать максимально возможным – $k_N = 6,653$), можно будет в заданных пределах (4.13) варьировать значения параметров $t_{\Pi}^{\exists}$ и t_p , не меняя k_N , поскольку ограничения, определяющие эти параметры, на значение k_N влияния не оказывают. Например, в решении (4.14) мы считаем, что продолжительность рейса должна составлять не 24,5 мин, а $t_p = 28,2$ мин (равная, в частности, фактической продолжительности рейса на разрезе «Талдинский»). Это можно сделать за счёт изменения ограничения по функциональному критерию на $(28,2 - 24,5) / 25,489 = 0,144$ (максимальное изменение по (4.14) – 0,166). Тогда значение $t_{\Pi}^{\exists}$ будет составлять $t_{\Pi}^{\exists} = 3,616 - 1,578 \cdot 0,144 = 3,4$ мин; значение функцио-

нального критерия $\lambda = 6,653 \cdot 3,401 / 28,2 = 0,793$, а целевого критерия – $k = 1,370 - 1,684 \cdot 0,144 = 1,128$.

Если такие значения оптимизируемых параметров и функционального критерия удовлетворяют, оптимальное решение будет следующим:

$$k_N^* = 6,653; t_{\Pi}^* = 3,4 \text{ мин}; t_p^* = 28,2 \text{ мин}; \lambda^* = 0,793; k^* = 1,128.$$

Поскольку действия с оптимизируемыми параметрами в рамках системы запаса по ограничениям (4.13) не меняет структуры оптимального решения, все вариационные расчёты представляют достаточно простую задачу, что позволяет достаточно быстро и легко оценить принимаемые решения [116, 117].

4.2.3 Оптимизация параметров экскаваторно-автомобильного комплекса для осенне-весеннего периода года

Как уже указывалось в главе 2, снижение скорости движения самосвалов в переходный (осенне-весенний) период года на 15–20% приводит к увеличению времени пробега самосвалов в гружёном $t_{гр}$ и порожнем $t_{пор}$ направлениях, а значит, и продолжительности рейса t_p . Для того чтобы обеспечить запланированные объёмы погрузки и перевозок и необходимое для этого количество рейсов, экскаваторы и самосвалы должны работать дольше. Следовательно, увеличится продолжительность рабочей смены (суток) $T_{см}$. Для оценки влияния только условий осенне-весеннего периода на работу ЭАК все остальные показатели этой работы должны быть оставлены без изменений. Исходные данные для расчётов приведены в таблице 2.9. Базовые значения удельных величин показателей качества должны приниматься по летнему периоду (таблица 2.12).

По аналогии с исследованиями для летнего периода был проведён математический эксперимент, результаты которого и статистического анализа полученных моделей целевой функции k и ограничения по функциональному критерию λ приведены в таблицах 4.6–4.7.

Таблица 4.6 – Результаты эксперимента по формированию целевой функции k и ограничения по функциональному критерию λ

Номер опыта	Исходные параметры			Функциональный критерий, λ	Удельные значения			Целевая функция, k
	k_N	t_{Π}^3	t_p		$\frac{1}{k_N \cdot \lambda}$	$\frac{1}{t_{\Pi}^3 \cdot \lambda}$	$\frac{t_p}{\lambda}$	
1	3	2,4	19	0,379	0,880	1,097	50,13	0,359
2	8	2,4	19	1,011	0,124	0,412	18,79	1,208
3	3	3,8	19	0,600	0,556	0,439	31,67	0,680
4	8	3,8	19	1,600	0,078	0,164	11,86	2,386
5	3	2,4	45	0,160	2,083	2,604	281,25	0,111
6	8	2,4	45	0,427	0,293	0,976	105,4	0,417
7	3	3,8	45	0,253	1,318	1,040	177,9	0,203
8	8	3,8	45	0,676	0,185	0,389	66,57	0,790

Таблица 4.7 – Результаты статистического анализа моделей целевой функции k (верхняя строка) и ограничения по функциональному критерию λ (нижняя строка)

Коэффициенты регрессии в кодированном/натуральном масштабе				Статистические характеристики					
b_0/a_0	b_1/a_1	b_2/a_2	b_3/a_3	S_y^2	$S_{\text{ост}}^2$	F	$F_{\text{кр}}$	Δb	S_0
$\frac{0,781}{-0,244}$	$\frac{0,442}{0,177}$	$\frac{0,234}{0,395}$	$\frac{-0,400}{-0,0308}$	2,047	0,1655	12,37	6,39	0,398	0,144
$\frac{0,638}{0}$	$\frac{0,290}{0,166}$	$\frac{0,144}{0,206}$	$\frac{-0,259}{-0,0199}$	1,162	0,0445	26,08	6,39	0,208	0,075

Математическая модель оптимизации для осенне-весеннего периода года:

$$k = -0,244 + 0,177k_N + 0,395t_{\Pi}^3 - 0,0308t_p \rightarrow \max;$$

$$0,116k_N + 0,206t_{\Pi}^3 - 0,0199t_p \geq 0,925;$$

$$0,116k_N + 0,206t_{\Pi}^3 - 0,0199t_p \leq 1,075;$$

$$t_{\Pi}^3 + 0,0539t_p \geq 4,787;$$

$$t_{\Pi}^3 + 0,0539t_p \leq 5,097;$$

$$k_N \geq 5,079;$$

$$k_N \leq 6,598,$$

$$k_N \geq 0; t_{\Pi}^{\exists} \geq 0; t_p \geq 0,$$

исследование которой даёт оптимальную симплекс-таблицу 4.8 [103].

Таблица 4.8 – Оптимальная симплекс-таблица для осенне-весеннего периода

Величина	Свободный член	Свободные переменные		
		y_2	y_4	y_5
k	1,330	1,576	0,01040	0,00590
Базисные переменные				
k_N	5,079	0	0	-1
$t_{\Pi}^{\exists}$	4,1	1,739	0,642	0,202
t_p	18,2	-32,254	6,644	-3,742
y_1	0,150	1	0	0
y_3	0,310	0	1	0
y_6	1,519	0	0	1

Оптимальное решение, таким образом, имеет следующий вид:

$$k_N^* = 5,079; t_{\Pi}^{\exists*} = 4,1 \text{ мин}; t_p^* = 18,2 \text{ мин}; \lambda^* = 1,149; k^* = 1,330.$$

Если по аналогии с предыдущими рассуждениями для летнего периода считать оптимальным максимальное значение $k_N = 5,079 + 1,519 = 6,600$, оптимальным решением будет следующее:

$$k_N^* = 6,600; t_{\Pi}^{\exists*} = 3,8 \text{ мин}; t_p^* = 23,9 \text{ мин}; \lambda^* = 1,053; k^* = 1,321, \quad (4.15)$$

Аналогичное решение для летнего периода (4.14):

$$k_N^* = 6,653; t_{\Pi}^{\exists*} = 3,6 \text{ мин}; t_p^* = 24,5 \text{ мин}; \lambda^* = 0,981; k^* = 1,370. \quad (4.16)$$

Из оптимальных решений для летнего (4.16) и осенне-весеннего (4.15) периодов года видно, что значения k_N^* не совпадают, а значит, необходимо производить сезонный пересмотр структуры парков в ЭАК, что нецелесообразно. Есть смысл оставить одно значение показателя k_N для всех сезонов. Очевидно, это будет меньшее значение $k_N^* = 6,60$, поскольку для осенне-весеннего периода – это

максимально возможное значение. А вот величина k_N^* для летнего периода, равная 6,653, – может быть уменьшена. Производится это следующим образом. Значение k_N^* необходимо уменьшить с 6,653 до 6,60 (таблица 4.5). Это означает, что в соответствии с запасом по ограничению по производительности ЭАК (y_5) снижение $\Delta S_0^{\Pi_{\text{ЭАК}}}$ будет составлять не 1,529 (максимальное), а $(6,60 - 5,124)/1,0 = 1,474$. Пропорционально этому коэффициенту изменятся и величины $t_{\Pi}^{\text{Э}}$ и t_p . Их значения будут составлять: $t_{\Pi}^{\text{Э}} = 3,929 - 0,205 \cdot 1,474 = 3,6$ мин; $t_p = 19,47 + 3,313 \cdot 1,474 = 24,4$ мин. Значение функционального критерия составит $\lambda = 6,60 \cdot 3,627 / 24,35 = 0,983$, а комплексного показателя качества $k = 1,370 - 0,00990 \cdot 1,474 = 1,355$.

Следующая сложность состоит в том, что фактические значения продолжительности рейса в осенне-весенний период заметно выше оптимального значения $t_p^* = 23,9$ мин (4.15). Для установления взаимосвязи между продолжительностью рейса в летний и осенне-весенний период проведём статистическую обработку соответствующих данных.

Уравнение связи имеет вид: $t_p^{0-B} = 1,154 t_p^{\text{Л}} - 0,815 \pm 0,097$ (таблица 3.1). Результаты расчётов продолжительности рейса в осенне-весенний период t_p^{0-B} при задаваемых значениях продолжительности рейса в летний период $t_p^{\text{Л}}$ приведены в таблице 4.9.

Изменение значения параметра t_p влечёт за собой изменения в значениях $t_{\Pi}^{\text{Э}}$, λ и k по сравнению с оптимальным решением (4.16). Имеем из таблиц 4.8 и 4.9 уменьшение параметра t_p на $(27,28 - 23,88) / 32,254 = 0,105$, тогда $t_{\Pi}^{\text{Э}} = 3,809 - 1,739 \cdot 0,105 = 3,6$ мин; $\lambda = 6,60 \cdot 3,627 / 27,28 = 0,877$; $k = 1,321 - 1,576 \cdot 0,105 = 1,155$.

Тогда оптимальные решения для летнего и осенне-весеннего периодов года соответственно в сопоставимых условиях будут иметь вид:

$$\begin{cases} k_N^* = 6,60; t_{\Pi}^{\text{Э}*} = 3,6 \text{ мин}; t_p^* = 24,4 \text{ мин}; \lambda^* = 0,983; k^* = 1,355; \\ k_N^* = 6,60; t_{\Pi}^{\text{Э}*} = 3,6 \text{ мин}; t_p^* = 27,3 \text{ мин}; \lambda^* = 0,877; k^* = 1,155. \end{cases} \quad (4.17)$$

Таблица 4.9 – Результаты расчёта соотношений оптимизируемых параметров, функционального критерия и комплексного показателя качества работы экскаваторно-автомобильного комплекса в летний и осенне-весенний период ($k_N^* = 6,60$)

t_p , мин	<u>24,5</u> 27,3	<u>25,0</u> 28,0	<u>25,5</u> 28,6	<u>26,0</u> 29,2	<u>26,5</u> 29,8	<u>27,0</u> 30,3	<u>27,5</u> 30,9	<u>28,0</u> 31,5	<u>28,8</u> 32,2
$t_{\Pi}^э$, мин	<u>3,6</u> 3,6	<u>3,6</u> 3,6	<u>3,6</u> 3,6	<u>3,5</u> 3,5	<u>3,5</u> 3,5	<u>3,5</u> 3,5	<u>3,4</u> 3,4	<u>3,4</u> 3,4	<u>3,4</u> 3,4
λ	<u>0,983</u> 0,877	<u>0,947</u> 0,844	<u>0,920</u> 0,820	<u>0,895</u> 0,797	<u>0,870</u> 0,774	<u>0,847</u> 0,753	<u>0,824</u> 0,732	<u>0,802</u> 0,712	<u>0,777</u> 0,690
k	<u>1,355</u> 1,155	<u>1,312</u> 1,118	<u>1,279</u> 1,090	<u>1,246</u> 1,062	<u>1,213</u> 1,033	<u>1,180</u> 1,005	<u>1,147</u> 0,977	<u>1,114</u> 0,949	<u>1,076</u> 0,916

Для получения полных данных по соотношениям оптимизируемых параметров, функционального критерия и комплексного показателя качества работы ЭАК для задаваемых значений продолжительности рейса в летнее время $t_p^л$ соответствующие расчёты проводятся аналогично. Результаты также представлены в таблице 4.9.

Сравнительный анализ работы ЭАК в летний и осенне-весенний периоды года показывает (таблица 4.9), что продолжительность рейса самосвалов t_p в осенне-весенний период в среднем на 11,0% больше, чем в летний; время загрузки самосвала экскаватором $t_{\Pi}^э$ не изменяется; функциональный критерий λ – снижается на 11,0%, а комплексный коэффициент качества работы ЭАК k – на 12,8%, что соответствует результатам расчётов, полученных в главе 2 [103].

В работе [93] указывается, что в горной промышленности являются целесообразными значения функционального критерия λ меньше 1, что соответствует меньшим по численности паркам карьерных самосвалов. При этом, хотя и увеличиваются простои экскаваторов, зато существенно снижаются эксплуатационные расходы, большая часть которых на ОГР приходится именно на автотранспорт.

Приемлемыми являются все значения $\lambda \geq 0,9$ (для летнего периода работы ЭАК это: $t_p^{max} = 26,0$ мин; $t_{\pi}^{min} = 3,5$ мин; $\lambda^* = 0,895$; $k^* = 1,246$; таблица 4.9). Значение комплексного показателя качества работы ЭАК $k = 1,246$ в этом случае превышает наилучшее значение для разрезов Компании $k = 0,879$ (разрез «Краснобродский») на 29,5%; и на 50,7% выше, чем в целом по Компании ($k = 0,614$). Помимо оптимального и приведённого выше вариантов целесообразно рассмотреть также вариант с максимально возможным значением продолжительности рейса $t_p^{max} = 28,8$ мин (худший вариант). Несмотря на то, что значение функционального критерия в этом случае составляет лишь $\lambda = 0,777$, это всё равно на 9,4% выше, чем достигнуто у лучшего по этому критерию разреза «Талдинский» ($\lambda = 0,704$), а значение комплексного показателя $k = 1,062$ на 17,2% выше, чем достигнуто на лучшем разрезе «Краснобродский» ($k = 0,879$).

4.3 Синтез оптимальных показателей работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов

Имея оптимальные значения оптимизируемых параметров k_N^* , k_{π}^* и t_p^* , функционального критерия λ^* и комплексного показателя качества k^* , зафиксированные в таблице 4.9, можно определить основные показатели работы ЭАК разрезов УК «Кузбассразрезуголь».

Оптимальное значение коэффициента эксплуатационной производительности ЭАК $k_{\text{ЭАК}}^*$ определим следующим образом. Показатель k_N в соответствии с (3.1) равен $k_N = \frac{N_c}{N_3 \cdot k_{\text{ЭАК}}}$, где $\frac{N_c}{N_3} = k'_N$, откуда $k_{\text{ЭАК}} = \frac{k'_N}{k_N}$. С другой стороны, $k'_N = k_N - 0,357$ (из зависимости 3.9). Отсюда

$$k_{\text{ЭАК}}^* = \frac{k_N^* - 0,357}{k_N^*}.$$

Из этих же величин можно определить оптимальное значение соотношения k'_N :

$$k_N'^* = \left(\frac{N_c}{N_3}\right)^* = k_N^* \cdot k_{\text{ЭАК}}^*.$$

Оптимальная продолжительность рабочей смены (суток) в соответствии с (3.8) и данными таблицы 3.1 будет равна:

$$T_{\text{см}}^* = \frac{1,318t_p^*(58,605 - t_p^*)}{1 + \frac{0,643}{k_N^*} - \frac{1}{k_N^* - 0,357}}. \quad (4.18)$$

Оптимальные значения продолжительности смены и других зависящих от продолжительности рейса самосвалов показателей будем определять для трёх значений t_p^* (таблица 4.9): I вариант – оптимальный, $t_p^* = 24,5$ мин (ему соответствует максимальное значение функционального критерия $\lambda^* = 0,981$); II вариант – промежуточный, допустимое по функциональному критерию ($\lambda \geq 0,9$) значение $t_p^* = 26,0$ мин (ему соответствует минимально допустимое значение функционального критерия $\lambda^* = 0,895$); III вариант – худший, максимально возможное значение $t_p^{\text{max}} = 28,8$ мин (ему соответствует значение функционального критерия $\lambda = 0,777$).

Исходя из взаимосвязи показателя производительности экскаваторного парка ЭАК П^э и величины k_N^* (таблица 3.1) можно определить оптимальное значение этого показателя:

$$\text{П}^{\text{э}*} = 5,884k_N^* + 10,85 \pm S_0^{\text{П}^{\text{э}}}. \quad (4.19)$$

Из аналогичной связи (таблица 3.1) получим оптимальное значение показателя количества ковшей, загружаемых в кузов самосвала:

$$(n_k - 3)^* = 6,395 - 0,635k_N^* \pm S_0^{n_k},$$

откуда устанавливается оптимальное количество загружаемых ковшей n_k^* .

Оптимальное значение расстояния транспортирования $L_{\text{тр}}^*$ определится из зависимости, также приведённой в таблице 3.1. Как и для других показателей, зависящих от продолжительности рейса t_p^* , рассчитывается три варианта.

$$L_{\text{тр}}^* = 0,171t_p^* - 1,0 \pm S_0^{L_{\text{тр}}}.$$

Оптимальное значение доли простоев в продолжительности рабочей смены равно:

$$k_{\text{пр}}^{\Sigma*} = 1,390 - 1,378k_{\text{ЭАК}}^* \pm S_0^{k_{\text{пр}}}. \quad (4.20)$$

Оптимальное значение числа рейсов каждого самосвала в смену (сутки) определяется по формуле (таблица 3.1):

$$(n_p/N_c)^* = 77,242 - 1,318t_p^* \pm S_0^{n_p}.$$

Оптимальное значение среднесуточного пробега каждого самосвала равно:

$$L_{\text{ср.сут}}^* = 2L_{\text{тр}}^*(n_p/N_c)^*, \quad (4.21)$$

а эксплуатационной скорости –

$$v_9^* = \frac{L_{\text{ср.сут}}^*}{T_{\text{см}}^*}.$$

Оптимальные значения средневзвешенных величин вместимости ковша $\widetilde{E}_K^*$ и времени цикла экскаватора $\widetilde{t}_\text{ц}^*$ определяем следующим образом. Из таблицы 3.1 имеем:

$$\widetilde{t}_\text{ц}^* = 0,00195\widetilde{E}_K^* + 0,435 \pm S_0^{t_\text{ц}}. \quad (4.22)$$

С другой стороны –

$$\left(\frac{\widetilde{E}_K^*}{\widetilde{t}_\text{ц}^*}\right)^* = \Pi^*. \quad (4.23)$$

Определив по формуле (4.19) Π^* и выразив из формулы (4.23) значение $\widetilde{t}_\text{ц}^*$, совместно в уравнении (4.22) получим систему относительно $\widetilde{t}_\text{ц}^*$, решая которую, получим оптимальные значения вместимости ковша средневзвешенного экскаватора $\widetilde{E}_K^*$ и продолжительности цикла $\widetilde{t}_\text{ц}^*$.

Они составляют $\widetilde{E}_K^* = 22,85 \pm 1,65 \text{ м}^3$ и $\widetilde{t}_\text{ц}^* = 29,1 \pm 4,3$ секунд соответственно. Таким значениям соответствует, например, экскаватор Hitachi EX3600-6 ($E_K^* = 22 \text{ м}^3$; $t_\text{ц}^* = 28 \text{ с}$). Такому сочетанию соответствует значение производительности экскаваторного парка, состоящего из экскаваторов Hitachi EX3600-6: $\Pi^* = 47,14 \text{ м}^3/\text{мин}$, что, как показывают расчёты, попадает в оптимальный диапазон для этого показателя (4.19).

Оптимальная величина средневзвешенной вместимости кузова самосвала равна:

$$\widetilde{E}_K^* = \widetilde{E}_K^* \cdot n_K^*.$$

Полученному значению $\widetilde{E}_K^{c*} = (124,70 \pm 17,65 \text{ м}^3)$ в наибольшей степени соответствует самый распространённый на разрезах УК «Кузбассразрезуголь» самосвал БелАЗ-75306 ($E_K^c = 129,8 \text{ м}^3$).

Оптимальное значение показателя производительности автотранспортного парка ЭАК разреза $П^{c*}$ в соответствии с (2.11) определится как ($\text{м}^3/\text{мин}$):

$$П^{c*} = \frac{\widetilde{E}_K^{c*}}{t_p^*},$$

и по аналогии с другими величинами, зависящими от времени цикла самосвала t_p , имеет три значения.

Допустимый уровень простоев техники определяем исходя из следующих соображений. Оптимальная доля простоев техники с учётом простоев самосвалов в ожидании погрузки в продолжительности рабочей смены (суток) $k_{пр}^{\Sigma*}$ может быть получена из выражения (4.20).

Преобразуем входящий в уравнение (4.20) коэффициент эксплуатационной производительности $k_{ЭАК}$ следующим образом:

$$k_{ЭАК} = 1 - \frac{t_{пр\Sigma}^T - t_{пр\Sigma}^{c\text{ож}}}{T_{см}(N_э + N_c)}, \quad (4.24)$$

где $t_{пр\Sigma}^T$ – суммарные простои техники (экскаваторов и самосвалов) за рабочую смену, мин;

$t_{пр\Sigma}^{c\text{ож}}$ – суммарные простои автотранспортного парка в ожидании погрузки в течение рабочей смены, мин.

Преобразуем зависимость (4.24) следующим образом:

$$k_{ЭАК} = 1 - \frac{\overline{t_{пр}^T} - \overline{t_{пр}^{c\text{ож}}}}{T_{см}(1 + \frac{1}{k'_N})},$$

где $\overline{t_{пр}^T}$, $\overline{t_{пр}^{c\text{ож}}}$ – то же из формулы (4.24) в расчёте на один самосвал, мин.

Из данной зависимости получим:

$$\overline{t_{пр}^T} = (1 - k_{ЭАК})(1 + \frac{1}{k'_N})T_{см} + \overline{t_{пр}^{c\text{ож}}}. \quad (4.25)$$

Учитывая, что $\overline{t_{\text{пр}}^T}/T_{\text{см}} = k_{\text{пр}}^{\Sigma}$, после подстановки в (4.25) и преобразований, получим:

$$\overline{t_{\text{пр}}^{\text{с ож}}^*} = [k_{\text{пр}}^{\Sigma*} - (1 - k_{\text{ЭАК}}^*)(1 + \frac{1}{k_N^*})]T_{\text{см}}^*;$$

$$\overline{t_{\text{пр}}^{\Sigma}}^* = k_{\text{пр}}^{\Sigma*} \cdot T_{\text{см}}^*.$$

Имея значения $\overline{t_{\text{пр}}^{\Sigma}}^*$ и $\overline{t_{\text{пр}}^{\text{с ож}}^*}$, можно определить соответствующие показатели в расчёте на один рейс:

$$\begin{aligned} t_{\text{пр}}^{\Sigma*} &= \overline{t_{\text{пр}}^{\Sigma}}^* / (n_{\text{р}}/N_{\text{с}})^*; \\ t_{\text{пр}}^{\text{с ож}*} &= \overline{t_{\text{пр}}^{\text{с ож}}^*} / (n_{\text{р}}/N_{\text{с}})^*. \end{aligned} \quad (4.26)$$

В формуле (4.26) в состав $t_{\text{пр}}^{\Sigma*}$ входят простые самосвалов в ожидании погрузки $t_{\text{пр}}^{\text{с ож}}$. Тогда

$$t_{\text{пр}}^{T*} = t_{\text{пр}}^{\Sigma*} - t_{\text{пр}}^{\text{с ож}*}. \quad (4.27)$$

Полученные независимо величины могут послужить основой для возможной корректировки продолжительности рабочей смены, оптимальное значение которой получено по формуле (4.18).

$$T_{\text{см}}^* = (t_{\text{р}}^* + t_{\text{пр}}^{T*}) (n_{\text{р}}/N_{\text{с}})^*. \quad (4.28)$$

Расчёты показывают, что оптимальные значения $T_{\text{см}}^*$, рассчитанные по формулам (4.18) и (4.28) совпадают.

Оптимальная величина производительности ЭАК из зависимости (3.4) равна:

$$\Pi_{\text{ЭАК}}^* = \frac{\Pi^{\Sigma*} \cdot T_{\text{см}}^*}{k_N^*}.$$

Независимым, исходным показателем, характеризующим ЭАК, является количество экскаваторов в составе парка, $N_{\text{э}}$. Они определяют требуемые объёмы погрузки и перевозок за смену (сутки).

На разрезах в рассматриваемый период по вскрыше работало от 8 (разрез «Кедровский») до 14 (разрез «Талдинский») экскаваторов различных моделей и марок. Поэтому мы и будем проводить расчёты для $N_{\text{э}} = 8 \div 14$ единиц.

$$N_c^* = N_{\text{э}} \cdot k_N^* \cdot k_{\text{ЭАК}}^* = 6,3N_{\text{э}}.$$

Результаты расчётов приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Оптимальное количество самосвалов N_c^* для обслуживания $N_{\text{э}}$ экскаваторов

$N_{\text{э}}$	8	9	10	11	12	13	14
N_c^*	50	56	63	69	75	81	88

Речь здесь идёт о том, что используется $N_{\text{э}}$ экскаваторов со средневзвешенными параметрами ($E_{\text{к}}^{\text{э}*} = 22,85 \pm 1,65 \text{ м}^3$; $t_{\text{ц}}^{\text{э}*} = 29,1 \pm 4,3 \text{ с}$) и N_c^* самосвалов также со средневзвешенной вместимостью кузова ($E_{\text{к}}^{\text{с}*} = 124,70 \pm 17,65 \text{ м}^3$). Если парки смешанные, экскаваторы и самосвалы надо подбирать таким образом, чтобы средневзвешенные показатели были в пределах приведённых выше значений. Порядок формирования смешанных парков техники с заданными средневзвешенными параметрами будет показан ниже.

По количеству экскаваторов и самосвалов наиболее близкие к оптимальным фактические значения численности парков имеет разрез «Талдинский», который мы и выберем для сравнения. В этой связи есть смысл рассмотреть ещё один вариант (вариант IV) – под фактическое значение продолжительности рейса для разреза «Талдинский» ($t_{\text{р}}^{\text{факт}} = 28,2 \text{ мин}$), которое попадает в диапазон допустимых значений этого показателя ($24,5 \div 28,8$) (таблица 4.9).

Имея данные по оптимальному и фактическому количеству самосвалов в ЭАК разреза «Талдинский», дополнительно можно определить следующие показатели:

– оптимальное количество выполненных за смену рейсов:

$$n_{\text{р}}^* = (n_{\text{р}}/N_c)^* \cdot N_c^*,$$

– оптимальные объёмы погрузки и перевозок:

$$G^* = m_{\text{гр}}^* \cdot n_{\text{р}}^*, \quad (4.29)$$

где $m_{\text{гр}}^*$ – оптимальная грузоподъёмность средневзвешенного самосвала, м^3 .

Величину $m_{гр}^*$ можно установить через пропорции вместимостей кузовов. Для этого вначале определим соотношение грузоподъемности самосвала и вместимости его кузова $\frac{m_{гр}}{E_K^c}$ для всех самосвалов, работавших в рассматриваемый период по вскрыше на разрезе «Талдинский». Это самосвалы БелАЗ-75131 (130 т; 71,2 м³), БелАЗ-75306 (220 т; 129,8 м³), БелАЗ-75600 (320 т; 199 м³) и БелАЗ-75603 (360 т; 218 м³). Средняя величина $\frac{m_{гр}}{E_K^c}$ для них составляет 1,695, что полностью совпадает с указанным коэффициентом для БелАЗ-75306. Тогда

$$m_{гр}^* = \left(\frac{m_{гр}^{БелАЗ-75306}}{E_K^{БелАЗ-75306}} \right) \cdot E_K^c,$$

где $m_{гр}^{БелАЗ-75306}$, $E_K^{БелАЗ-75306}$ – номинальные грузоподъемность и вместимость кузова самосвала-аналога БелАЗ-75306;

– оптимальное количество рейсов самосвалов, потерянных в ожидании погрузки:

$$n_p^{-*} = \frac{t_{пр}^{с\text{ож}^*} \cdot n_p^*}{t_p^* - t_{пр}^{с\text{ож}^*}}.$$

Для определения оптимальных значений показателей производительного использования экскаваторного и автотранспортного парков (2.19) и (2.20) необходимо разделить общие простои техники $t_{пр}^{T^*}$ из (4.28) на простои экскаваторов $t_{пр}^{э*}$ и самосвалов $t_{пр}^{с*}$.

Установить оптимальное значение указанных показателей можно исходя из следующих соображений. Как уже указывалось, предприятия стремятся максимально сократить простои экскаваторов как наиболее высокопроизводительных и дорогостоящих машин в составе ЭАК. С другой стороны, основой предложенной методики является тот принцип, что уровень каждого показателя качества работы ЭАК должен быть уже достигнутым в реальности, хотя бы и на разных предприятиях. Минимальное соотношение простоев экскаваторов и самосвалов достигнуто на разрезе «Бачатский» ($t_{пр}^э/t_{пр}^с = 0,266$), максимальное – на разрезе «Моховский» ($t_{пр}^э/t_{пр}^с = 3,770$), то есть достаточно сильно различаются. Используя робастную процедуру, отбрасываем максимальное и минимальное значения, а из ос-

тавшихся выбираем минимальное. Оно принадлежит разрезу «Краснобродский» и составляет $t_{\text{пр}}^{\text{э}}/t_{\text{пр}}^{\text{с}} = 1,161$. Это значение и будем считать оптимальным в современных условиях в УК «Кузбассразрезуголь». Оптимальное значение суммарных простоев экскаваторов и самосвалов (техники) $t_{\text{пр}}^{\text{T*}}$ в зависимости (4.28) необходимо разделить в зависимости от данного соотношения. Имеем:

$$t_{\text{пр}}^{\text{с}*} = t_{\text{пр}}^{\text{T*}}/[1 + (t_{\text{пр}}^{\text{э}}/t_{\text{пр}}^{\text{с}})^*];$$

$$t_{\text{пр}}^{\text{э}*} = t_{\text{пр}}^{\text{T*}} - t_{\text{пр}}^{\text{с}*}.$$

Сравнительные показатели работы ЭАК разреза «Талдинский» и разреза с оптимальным ЭАК приведены в таблице 4.11.

Из таблицы следует, что оптимизация параметров ЭАК приводит к сокращению численности автотранспортного парка разреза «Талдинский» на 3 машины при той же численности экскаваторного парка. При этом оптимальный экскаваторный парк должен состоять из экскаваторов с оптимальными параметрами (таблица 4.11): $E_{\text{к}}^{\text{э}*} = (21,2 \div 24,5) \text{ м}^3$; $t_{\text{ц}}^{\text{э}*} = (25 \div 33) \text{ с}$. И если по величине времени цикла $t_{\text{ц}}^{\text{э}}$ большинство существующих экскаваторов попадает в оптимальный диапазон, то по вместимости ковша $E_{\text{к}}^{\text{э}}$ в оптимальный диапазон попадают экскаваторные парки только двух разрезов – «Краснобродский» и «Талдинский». Это означает, что уже сейчас существующие экскаваторные парки этих разрезов отвечают критерию оптимальности. Экскаваторные парки разрезов «Кедровский», «Моховский» и «Калтанский» имеют фактическую средневзвешенную вместимость ковша экскаваторов ниже оптимальной; у разреза «Бачатский» – выше, то есть экскаваторы являются либо недостаточно, либо излишне мощными.

Однако сама по себе мощность экскаваторного парка для оценки ЭАК ещё ни о чём не говорит. Для имеющегося экскаваторного парка необходим ещё автотранспортный парк, обладающий соответствующими данному экскаваторному парку характеристиками, то есть также попадать в оптимальный диапазон вместимостей кузовов самосвалов. Из таблицы 2.9 видно, что в оптимальный диапазон вместимостей кузовов самосвалов попадают автотранспортные парки пяти из

Таблица 4.11 – Сравнительные показатели работы экскаваторно-автомобильного комплекса разреза «Талдинский» и разреза с оптимальным экскаваторно-автомобильным комплексом

№	Показатели	Разрезы				
		Талдин-ский	с оптимальным ЭАК			
			вариант I	вариант II	вариант III	вариант IV
1	Количество экскаваторов в ЭАК, $N_э$	14	14			
2	Количество самосвалов в ЭАК, N_c	91	88			
3	Количество самосвалов, обслуживающих каждый экскаватор, $k'_N = N_c/N_э$	6,5	6,25			
4	Продолжительность рабочей смены (суток), $T_{см}$, ч	18,6	19,6±0,7	19,9±0,8	20,1±0,9	20,1±0,9
5	Объёмы погрузки и перевозок за смену, G , тыс. тонн	674,3	844,9±15,4	804,3±14,9	741,2±14,0	746,0±14,0
6	Количество выполненных рейсов, n_p	3372	3976±165	3784±165	3485±165	3529±165
7	Нагрузка на рейс, $m_{гр}$, тонн	200	211,4			
8	Время рейса самосвала с простоями в ожидании погрузки, t_p , мин	28,2	24,5	26,0	28,8	28,2
9	Количество рейсов каждого самосвала за смену, (n_p/N_c)	37,1	45,2±1,9	43,0±1,9	39,6±1,9	40,1±1,9
10	Средневзвешенная вместимость ковша экскаватора, $\widetilde{E}_к$, м ³	24,15	22,85±1,65			
11	Показатель производительности экскаваторного парка, $\widetilde{П}^э = (\widetilde{E}_к/\widetilde{t}_ц)$, м ³ /мин	50,18	47,59±3,54			
12	Средневзвешенная вместимость кузова самосвала, $\widetilde{E}_с$, м ³	116,85	124,70±17,65			
13	Показатель производительности автотранспортного парка, $\widetilde{П}^с = (\widetilde{E}_с/t_p)$, м ³ /мин	4,142	5,121±0,73	4,796±0,68	4,363±0,62	4,420±0,63
14	Количество загружаемых в кузов ковшей, n_k	4,8	5,4±0,4			
15	Производительность ЭАК в расчёте на один самосвал, $П_{ЭАК}^{уд}$, тыс. м ³ /смену	8,15	8,5±1,0	8,6±1,0	8,7±1,1	8,7±1,1
16	Расстояние транспортирования, $L_{тр}$, км	3,88	3,16±0,05	3,45±0,05	3,89±0,05	3,82±0,05
17	Среднесуточный пробег самосвалов, $L_{ср.сут}$, км	287,5	285,5±16,6	296,7±17,5	308,0±18,8	306,3±18,6

Продолжение таблицы 4.11

18	Эксплуатационная скорость самосвалов, ϑ_3 , км/ч	15,45	14,59±0,23	14,91±0,21	15,30±0,20	15,22±0,20
19	Простои в ожидании погрузки за рейс, $t_{\text{пр}}^{\text{ож}}$, мин	1,0	0,6±0,1	0,7±0,1	0,7±0,1	0,7±0,1
20	Количество рейсов, потерянных в ожидании погрузки, $n_{\text{р}}^- = t_{\text{пр}}^{\text{ож}} \cdot n_{\text{р}} / (t_{\text{р}} - t_{\text{пр}}^{\text{ож}})$	120	107±16	100±16	92±16	93±16
21	Общий уровень простоев техники (экскаваторов и самосвалов) на рейс, $t_{\text{пр}}^{\text{т}} = t_{\text{пр}}^{\text{с}} + t_{\text{пр}}^{\text{ож}}$, мин	1,9	1,6	1,7	1,9	1,9
22	Доля суммарных (с учётом ожидания работы) простоев техники в продолжительности рабочей смены, $k_{\text{пр}}^{\Sigma}$	0,095	0,086±0,003			
23	Доля простоев самосвалов в ожидании погрузки в продолжительности рейса, $t_{\text{пр}}^{\text{ож}}/t_{\text{р}}$	0,0346	0,0256±0,0032			
24	Уровень простоев экскаваторного парка за рейс, $t_{\text{пр}}^{\text{э}}$, мин	1,1	0,9	0,9	1,0	1,0
25	Уровень простоев парка самосвалов за рейс (без учёта простоев в ожидании), $t_{\text{пр}}^{\text{с}}$, мин	0,8	0,7	0,8	0,9	0,9
26	Соотношение времени простоев экскаваторов и самосвалов (с учётом ожидания погрузки), $k_{\text{пр}}^{\text{э-с}} = t_{\text{пр}}^{\text{э}} / (t_{\text{пр}}^{\text{с}} + t_{\text{пр}}^{\text{ож}})$	0,583	0,633±0,013			
27	Соотношение времени работы и простоев экскаваторного парка, $k_{\text{пр}}^{\text{э}} = t_{\text{р}}^{\text{э}} / t_{\text{пр}}^{\text{э}}$	2,740	4,188	3,811	3,312	3,378
28	Соотношение времени работы и простоев автотранспортного парка, $k_{\text{пр}}^{\text{с}} = (t_{\text{р}} - t_{\text{пр}}^{\text{ож}}) / (t_{\text{пр}}^{\text{с}} + t_{\text{пр}}^{\text{ож}})$	15,04	17,33±0,66			
29	Коэффициент эксплуатационной производительности, $k_{\text{ЭАК}}$	0,946	0,946			
30	Функциональный критерий, λ	0,704	0,983	0,895	0,777	0,793
31	Комплексный показатель качества работы ЭАК, k	0,737	1,335	1,246	1,076	1,100

шести разрезов (исключение составляет разрез «Моховский»). Это означает, что практически на всех разрезах характеристики автотранспортных парков ЭАК близки к оптимальным. И только у двух разрезов – «Краснобродский» и «Талдинский» – оба парка (и экскаваторный, и автотранспортный) по своим характеристикам соответствуют оптимальным.

Очевидно, поэтому оба эти разреза занимают лидирующие позиции в ранжированном списке разрезов по комплексному показателю качества функционирования ЭАК ($k = 0,879$ и $k = 0,737$ для разрезов «Краснобродский» и «Талдинский»; 1-е и 2-е место соответственно). Они обладают наибольшими значениями и функционального критерия: $\lambda = 0,704$ и $\lambda = 0,682$ для разрезов «Талдинский» и «Краснобродский» соответственно. Из этого следует и ещё один вывод: для разреза «Талдинский» сокращение в результате оптимизации численности автотранспортного парка на 3 машины означает, что они обладают указанными выше оптимальными характеристиками.

Наибольшими по величине характеристиками автотранспортного и экскаваторного парков ЭАК обладает разрез «Бачатский» (таблица 2.8). И если по вместимости кузова самосвалов ЭАК разреза «Бачатский» практически попадает в оптимальный диапазон значений для этого показателя, то по вместимости ковша экскаваторов – довольно существенно превышает оптимальные значения (32,7 против 24,5 м³). Это неоптимальное соотношение характеристик автотранспортного и экскаваторного парков привело к тому, что разрез «Бачатский» в ранжированном списке занимает лишь 3-е место. Ещё большее несоответствие наблюдается на остальных разрезах, и они по качеству работы их ЭАК попадают в разряд разрезов-аутсайдеров. Помимо оптимального соответствия фактических экскаваторных и автотранспортных парков ЭАК разреза «Талдинский», близки к оптимальным значениям показатели производительности экскаваторного и автотранспортного парков, эксплуатационной скорости самосвалов, среднесуточного пробега, производительности ЭАК в расчёте на один самосвал. Однозначно выше для оптимальных ЭАК продолжительность рабочей смены (суток). Поскольку продолжительность смены во многом определяется сменным заданием на объёмы по-

грузки и вывоза горной массы, возможность работать меньше времени прямо связана с заниженным сменным заданием.

«Инструкция по учёту рабочего времени технологического автотранспорта» [11] предусматривает, что продолжительность работы техники в течение суток (включая все простои и перерывы в работе) должна быть не более 21 часа (10,5 часа за смену). Остальное время (3 часа) отводится на подготовительно-заключительные операции и перерывы на личные надобности. То, что оптимальная продолжительность рабочей смены выше фактического значения для разреза «Талдинский» (таблица 4.11), свидетельствует о возможности оптимального ЭАК либо осуществлять погрузку и перевозку больших на $(741,2-674,3)/674,3 = 9\%$ объёмов горной массы, либо сократить численный состав парков техники (и экскаваторов, и самосвалов).

Заметно различаются оптимальные и фактические значения таких показателей как общий уровень простоев техники (экскаваторов и самосвалов) на рейс, когда только в самом худшем из возможных вариантов работы оптимального ЭАК (вариант III) он совпадает с фактическим. Во всех остальных вариантах работы даже при одной и той же продолжительности рейса самосвалов (вариант IV) оптимальные показатели заметно лучше фактических (в лучшем варианте I – на 14,8%). Соответственно снижается и доля простоев техники в продолжительности рабочей смены $k_{\text{пр}}^{\Sigma}$. Снижение простоев в оптимальном варианте работы ЭАК касается и ожидания работы, и простоев по другим причинам. Простои самосвалов в ожидании погрузки в самом худшем случае снижаются на 24,9%; в лучшем (оптимальном) – на 36,0%. Доля суммарных простоев техники в продолжительности смены $k_{\text{пр}}^{\Sigma}$ снижается на 9,5%; доля простоев самосвалов в ожидании погрузки в продолжительности смены – на 26,0%.

Превышение оптимального соотношения времени работы и простоев автотранспортного парка $k_{\text{пр}}^{\text{с}}$ над фактическим (17,33 против 15,04) всего на 13,2% объясняется перераспределением простоев экскаваторов и самосвалов в оптимальном ЭАК в сторону сокращения простоев экскаваторов даже в ущерб просто-

ям самосвалов. Об этом же свидетельствует более значительное увеличение допустимого уровня простоев самосвалов и сокращение уровня простоев экскаваторов; об этом говорит и существенное увеличение соотношения времени работы и простоев экскаваторного парка, $k_{\text{пр}}^3$. В процентном отношении оно изменяется от 34,6% для оптимального варианта I, до 17,3% – для худшего из допустимых (вариант III).

В результате оптимального согласования параметров ЭАК разреза «Талдинский» коэффициент эксплуатационной производительности $k_{\text{ЭАК}}$ не изменился (он уже был достаточно высок; $k_{\text{ЭАК}} = 0,946$); функциональный критерий λ увеличился по сравнению с фактическим значением максимально на 28,4%, минимально – на 9,4%; комплексный показатель качества работы ЭАК k увеличивается максимально на 44,8%, минимально – на 31,5%.

Оптимальный вариант работы ЭАК (вариант I) характеризуется наивысшими значениями функционального критерия $\lambda^* = 0,983$ и комплексного показателя качества $k^* = 1,335$. Однако для достижения данных показателей необходимо обеспечить оптимальную величину продолжительности рейса самосвалов $t_p^* = 24,5$ мин, которому соответствует расстояние транспортирования $L_{\text{тр}}^* = 3,16$ км вместо $L_{\text{тр}} = 3,88$ км на разрезе «Талдинский» фактически. К этому варианту надо стремиться, однако, если такой возможности нет, можно ослабить требование по продолжительности рейса и расстоянию транспортирования (вариант II). Увеличение продолжительности рейса до $t_p^* = 26,0$ мин и расстояния транспортирования соответственно до $L_{\text{тр}}^* = 3,45$ км позволяет обеспечить всё ещё допустимое значение функционального критерия $\lambda^* = 0,895$. Если же возможности уменьшения расстояния транспортирования нет в принципе, можно использовать вариант IV, при котором продолжительность рейса самосвалов по сравнению с фактическим по разрезу «Талдинский» не изменяется, то есть составляет $t_p = 28,2$ мин. Практически не меняется и оптимальное расстояние транспортирования ($L_{\text{тр}} = 3,82$ км против 3,88 км фактически), однако значение функционального критерия при этом снижается до $\lambda = 0,793$, что в принципе выходит за рамки

диапазона значений критерия, которые ещё признаются оптимальными ($1,0 \geq \lambda^* \geq 0,9$). Однако даже в этом случае работа ЭАК обладает указанными выше преимуществами (в частности, снижением простоев), а значит, это значение λ может быть признано допустимым [116, 117].

4.3.1 Корректировка показателей работы экскаваторно-автомобильного комплекса разреза «Талдинский» под оптимальную продолжительность рабочей смены

Из таблицы 4.11 видно, что оптимальная продолжительность рабочей смены для всех рассмотренных вариантов времени рейса ($T_{см}^* = 19,6 \div 20,1$ ч.) выше, чем фактически на разрезе «Талдинский» ($T_{см}^{факт} = 18,6$ ч.). Объясняется это тем, что фактическая продолжительность смены на разрезе была достаточна для выполнения сменного задания по погрузке и перевозке горной массы. Для этого имеющемуся 91 самосвалу достаточно было выполнить 3372 рейса. Вполне понятно, что если бы самосвалы на разрезе «Талдинский» работали не 18,6, а $19,6 \div 20,1$ часов, то они смогли бы выполнить больше рейсов и перевезти больше горной массы, чем это приведено в таблице 4.11. Поэтому интересным было бы сравнение показателей работы оптимального ЭАК с показателями работы ЭАК разреза «Талдинский» при оптимальной продолжительности рабочей смены (суток). Расчёты производим для фактического значения продолжительности рейса $t_p^{факт} = 28,2$ мин (вариант IV). Количество рейсов составит: $n_p = \frac{T_{см}^*}{T_{см}^{факт}} \cdot n_p^{факт} = 1206,4 \cdot 3372 / 1115,4 = 3647$ рейсов, в том числе на один самосвал: $\frac{n_p}{N_c^{факт}} = 3647 / 91 = 40,1$ рейса (фактически – 37,05 рейсов (таблица 4.11), что на 7,6% выше.

Коэффициент эксплуатационной производительности $k_{ЭАК} = 1 - \frac{t_{пр}^{факт} \cdot n_p}{T_{см}^* (N_{э}^{факт} + N_c^{факт})} = 1 - 1,891 \cdot 3647 / 1206,4(14 + 91) = 0,946$, по сравнению с фактическим коэффициентом не изменяется.

Среднесуточный пробег самосвалов составит: $L_{\text{тр}}^{\text{ср.сут}} = 2L_{\text{тр}}^{\text{факт}} \cdot \frac{n_p}{N_{\text{с}}^{\text{факт}}} =$
 $= 2 \cdot 3,88 \cdot 3647 / 91 = 311,0$ км, откуда эксплуатационная скорость – $v_3 = \frac{L_{\text{тр}}^{\text{ср.сут}}}{T_{\text{см}}^*} =$
 $= 311,0 / 20,1 = 15,46$ км/ч (фактически – 15,45 км/ч), то есть тоже не изменяется.

Объём перевозок получим из зависимости (4.28), имея в виду, что фактическая средневзвешенная грузоподъёмность самосвала (нагрузка на рейс) отличается от оптимальной грузоподъёмности.

Оптимальная нагрузка на рейс из (4.29) составляет $m_{\text{гр}}^* = 211,4$ тонн. Фактическая нагрузка на рейс на разрезе «Талдинский» составляет: $m_{\text{гр}}^{\text{факт}} = G^{\text{факт}} / n_p^{\text{факт}} =$
 $= 674300 / 3372 = 200$ тонн. Имеем $G = m_{\text{гр}}^{\text{факт}} \cdot n_p = 200 \cdot 3647 = 729,0$ тыс. тонн. Это означает, что даже если ЭАК разреза «Талдинский» будет работать смену оптимальной продолжительности и выполнить больше рейсов, чем оптимальный ЭАК ($3647 > 3529$), фактически будет перевезено 729,0 тыс. тонн вместо оптимальных 746,0 тыс. тонн (таблица 4.11), то есть меньше на 2,3%.

Из этого следует, что количество рейсов, выполненных фактически на разрезе «Талдинский» для перевозки одних и тех же объёмов горной массы, соответствует меньшему в $m_{\text{гр}}^* / m_{\text{гр}}^{\text{факт}} = 1,057$ раза количеству рейсов. То есть $n_p^{\text{факт}} = 3372$ рейса самосвалов средневзвешенной грузоподъёмностью 200 тонн соответствует $n_p^* = 3190$ рейсов самосвалов оптимальной грузоподъёмности (211,4 тонн); $n_p^{\text{факт}} = 3647$ рейсов соответствует $n_p^* = 3449$ рейсов, что меньше оптимального значения для IV варианта (3529 рейсов; таблица 4.11) на 2,3%.

Количество рейсов, потерянных в ожидании погрузки: $n_p^{-\text{ож}} = \frac{t_{\text{пр}}^{\text{с.ож.факт}} \cdot n_p}{t_p^{\text{факт}}} =$
 $= 0,975 \cdot 3647 / 28,2 = 126$. Производительность ЭАК в расчёте на 1 самосвал:
 $\Pi_{\text{ЭАК}}^{\text{уд}} = \frac{\Pi^{\text{факт}} \cdot T_{\text{см}}^*}{k_N^{\text{факт}}} = 50,18 \cdot 1206,4 / 1000 \cdot 6,871 \cdot 1,057 = 8,335$ тыс. м³/смену, что на 4,5% меньше оптимального значения – 8,730 тыс. м³/смену (таблица 4.11).

Сравнительный сводный отчёт о работе разреза «Талдинский» и разреза с оптимальным приведён в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Сравнительный сводный отчёт о работе разреза «Талдинский» и разреза с оптимальным экскаваторно-автомобильным комплексом

Разрез	Показатели	Общие внутрисменные простой техники, $t_{пр}^T$, мин	Простой самосвалов, $t_{пр}^C$, мин	Простой экскаваторов, $t_{пр}^Э$, мин	Время погрузки, $t_{п}^Э$, мин	Пройденный путь от экскаватора до отвала (от отвала до экскава- ра), $L_{пр}$, км	Эксплуатационная ско- рость самосвала, $v_{э}$, км/ч	Продолжительность рейса самосвала, $t_{р}$, мин	в том числе: простой самосвалов в ожидании погрузки, $t_{пр}^{с.ож}$, мин	Время рейса с учётом простоев техники, $(t_{р} + t_{пр}^T)$, мин
«Талдинский»	Всего, в том числе:	$\frac{6376,2}{6896,5}$	$\frac{2818,2}{3048,9}$	$\frac{3558,0}{3847,6}$	$\frac{9749,3}{10543,5}$	$\frac{13071,6}{14150,4}$	15,45/15,46	$\frac{95125,7}{102885,5}$	$\frac{3286,8}{3555,8}$	$\frac{101501,8}{109782,4}$
	– на 1 самосвал (91 ед., 200 т)	$\frac{70,1}{75,8}$	$\frac{31,0}{33,5}$	$\frac{39,1}{42,3}$	$\frac{107,1}{115,9}$	$\frac{143,6}{155,5}$		$\frac{1045,4}{1130,6}$	$\frac{36,1}{39,1}$	$\frac{1115,4}{1206,4}$
	– на 1 рейс (3372/3647 рейсов)	1,9	0,8	1,1	2,9	3,9		28,2	1,0	$\frac{18,6 \text{ ч.}}{20,1 \text{ ч.}}$
с оптимальными параметрами	Всего, в том числе:	6589,8	4535,7	2049,2	11949,5	13473,1	15,22	99500,2	2479,5	106090,0
	– на 1 самосвал (88 ед., 211 т)	74,8	51,5	23,3	135,8	153,1		1130,0	28,2	$\frac{1206,4}{20,1 \text{ ч.}}$
	– на 1 рейс (3529 рейсов)	1,9	1,3	0,6	3,4	3,8		28,2	0,7	

Примечание. В числителе – фактические значения показателей для разреза «Талдинский», в знаменателе – показатели, скорректированные под оптимальную продолжительность рабочей смены по варианту IV

4.3.2 Корректировка численности парков оптимального экскаваторно-автомобильного комплекса под фактические (требуемые) объёмы погрузки и перевозок на разрезе «Талдинский»

Из таблицы 4.11 следует, что (рассматриваем IV вариант) при оптимальной продолжительности рабочей смены (суток) за 20,1 часов 88 самосвалов с оптимальными параметрами могут вывезти 746,0 тыс. тонн горной массы. Фактически за это время на разрезе «Талдинский» можно вывезти 729,0 тыс. тонн (сменное задание на 20,1 часов работы). Для того чтобы погрузить и перевезти 729,0 тыс. тонн горной массы вместо 746,0 тыс. тонн оптимальному ЭАК потребуется меньше 88 самосвалов. И ещё меньше машин потребуется, если необходимо вывезти только фактический объём горной массы – 674,3 тыс. тонн. Для определения требуемого количества самосвалов вначале определяется необходимое число рейсов по формуле:

$$n_{\text{р}}^{\text{треб}} = \frac{G^*}{m_{\text{гр}}^*}, \quad (4.30)$$

где G^* – сменное задание при оптимальной продолжительности рабочей смены, тонн (729,0 тыс. тонн – потенциальное; 674,3 тыс. тонн – фактическое);

$m_{\text{гр}}^*$ – оптимальная грузоподъёмность самосвала, тонн (211,4 тонн).

Значение $n_{\text{р}}^{\text{треб}}$ для IV варианта составляет 3449 (3190) рейсов. Разделив полученное значение на $(n_{\text{р}}/N_{\text{с}})^*$ для IV варианта, определим необходимую численность автотранспортного парка ЭАК:

$$N_{\text{с}}^{\text{треб}} = \frac{G^*}{m_{\text{гр}}^* (n_{\text{р}}/N_{\text{с}})^*}. \quad (4.31)$$

Сокращение численности автотранспортного парка позволяет сократить и численность экскаваторного парка. Соотношение численного состава парков самосвалов и экскаваторов $k'_N = N_{\text{с}}/N_{\text{э}}$ при этом должно оставаться таким же, которое получено в результате оптимизации, то есть $k'_N = 6,25$. Имеем

$$N_{\text{э}}^* = \frac{N_{\text{с}}^*}{k'_N}. \quad (4.32)$$

Если произвести расчёты для всех вариантов, получим следующие результаты (таблица 4.13). Значения $(n_p/N_c)^*$ для всех вариантов приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.13 – Требуемая численность автотранспортного и экскаваторного парков оптимального экскаваторно-автомобильного комплекса для разреза «Талдинский»

Показатели	Варианты оптимального ЭАК				Фактическая численность парков, ед.
	I	II	III	IV	
$(n_p/N_c)^*$	45,15	42,97	39,57	40,10	
Требуемая численность автопарка, ед.	76 (71)	80 (74)	87 (81)	86 (80)	88
Требуемая численность экскаваторного парка, ед.	12 (11)	13 (12)	14 (13)	14 (13)	14

Примечание. В скобках – требуемая численность автотранспортного и экскаваторного парков ЭАК на разрезе «Талдинский» под фактический объём перевозок (674,3 тыс. тонн).

Если учесть, что оптимизация работы ЭАК разреза «Талдинский» уже даёт сокращение численности с 91 до 88 самосвалов (на 3 машины), то общее сокращение численности автотранспортного парка разреза «Талдинский» по сравнению с фактической достигает 5 (3+2) самосвалов. Для оптимального варианта I это число составляет 15 (3+12) машин; для промежуточного варианта II – 11 (3+8) самосвалов; для худшего варианта III – 4 (3+1) машины. Если же будет вывезено за смену оптимальной продолжительности (20,1 часов) не 729,0 тыс. т (сколько можно вывезти), а сколько вывезено фактически (674,3 тыс. т), то для IV варианта потребуется не 86, а 80 самосвалов с оптимальными параметрами (таблица 4.13), что меньше фактического количества ($N_c^{\text{факт}} = 91$ ед.) на 11 единиц, из них: 3 машины – за счёт оптимизации параметров ЭАК, и 8 самосвалов – за счёт фактиче-

ского, а не оптимального, объёма перевозок горной массы. Во всех проектных вариантах при рассмотрении фактического объёма погрузки и перевозок (674,3 тыс. тонн) сократится и требуемая численность экскаваторного парка: вместо $N_э^{факт} = 14$ машин потребуется 11-13 экскаваторов с оптимальными параметрами (таблица 4.13).

Таким образом, численность экскаваторного и автотранспортного парков разреза «Талдинский» может быть снижена минимально на $80/88 = 9\%$. Настолько же, как указывалось ранее, минимально может увеличиться суточная выработка ЭАК без изменения численности парков [117].

4.3.3 Порядок формирования смешанных парков техники с оптимальными параметрами

Рассмотрим ЭАК конкретного предприятия – разреза «Талдинский». Разрез «Талдинский» относится к сложным для проектирования ЭАК предприятиям, поскольку вскрышные работы ведутся не на одном, а на трёх полях – Талдинском, Таёжном и Ерунаковском, причём каждое поле имеет свои отдельные отвалы. При этом расстояния транспортирования $L_{тр}$ различаются не только для каждого поля, но и для каждого типа самосвалов. В частности, на Талдинском поле (таблица 2.5) самосвалы БелАЗ-75600 имеют расстояние транспортирования $L_{тр} = 4,76$ км, самосвалы БелАЗ-75306 – 3,93 км; на Таёжном поле самосвалы БелАЗ-75306 имеют $L_{тр} = 4,19$ км, самосвалы БелАЗ-75131 – 4,73 км; на Ерунаковском поле все самосвалы БелАЗ-75131 имеют $L_{тр} = 3,25$ км. Все эти значения $L_{тр}$ приводятся в справке о работе автотранспорта за каждую рабочую смену (сутки). В целом по разрезу величина $L_{тр}$ с учётом количества выполненных каждым самосвалом рейсов составляет 3,88 км.

Рассмотрим вариант IV при оптимальной продолжительности рабочей смены (20,1 час) и фактических объёмах перевозок (674,3 тыс. тонн). Для этого требуется 13 экскаваторов и 80 самосвалов с оптимальными параметрами (таблица 4.14). Здесь нужно иметь в виду, что приведённые в таблице 4.13 значения

Таблица 4.14 – Сравнительные показатели работы разреза «Талдинский» с фактическим и оптимальным экскаваторно-автомобильным комплексом

№	Показатели	Фактические значения	Значения при оптимальной продолжительности рабочей смены под:	
			оптимальные объёмы перевозок, G^*	фактические объёмы перевозок, $G^{\text{факт}}$
1	Объёмы погрузки и перевозок за смену, G , тыс. тонн	674,3	746,0	674,3
2	Количество экскаваторов в ЭАК, $N_{\text{э}}$	14	14	13
3	Количество самосвалов в ЭАК, $N_{\text{с}}$	91	86	80
4	Количество самосвалов на экскаватор, $k'_N = N_{\text{с}}/N_{\text{э}}$	6,50	6,25	
5	Продолжительность рабочей смены (суток), $T_{\text{см}}$, час	18,6	20,1	
6	Количество выполненных рейсов, $n_{\text{р}}$	3372	3529	3190
7	Нагрузка на рейс, $m_{\text{гр}}$, тонн	200	211,4	
8	Время рейса с простоями в ожидании погрузки, $t_{\text{р}}$, мин	28,2		
9	Количество рейсов каждого самосвала за смену, $(n_{\text{р}}/N_{\text{с}})$	37,05	40,10	
10	Средневзвешенная вместимость ковша экскаватора, $\widetilde{E}_{\text{к}}^{\text{э}}$, м ³	24,15	22,85	
11	Средневзвешенная вместимость кузова самосвала, $\widetilde{E}_{\text{к}}^{\text{с}}$, м ³	116,85	124,70	
12	Расстояние транспортирования, $L_{\text{тр}}$, км	3,88	3,82	
13	Эксплуатационная скорость самосвалов, $\vartheta_{\text{э}}$, км/ч	15,45	15,22	14,97
14	Функциональный критерий, λ	0,704	0,793	
15	Комплексный показатель качества ЭАК, k	0,737	1,100	

численности соответствуют оптимальным значениям средневзвешенной грузоподъемности (нагрузки на рейс) самосвалов (211,4 тонн), которая выше фактической (200 тонн). Следовательно, 88 самосвалам оптимальной грузоподъемности соответствует 91 машина фактической. Коэффициент сокращения составляет $91/14 \cdot 6,25 = 1,041$. Поэтому при корректировке численности автотранспортного парка разреза «Талдинский» данные таблицы 4.13 необходимо пересчитать с учётом этого коэффициента, а также зависимостей (4.31) – (4.33). Скорректированные значения приведены в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Требуемая численность парков техники на разрезе «Талдинский» при фактической нагрузке на рейс (200 тонн)

Показатели	Варианты ЭАК	
	Проектный IV	Базовый
Требуемая численность автопарка, ед.	89 (83)	91
Требуемая численность экскаваторного парка, ед.	14 (13)	14

Примечание. В скобках – требуемая численность автотранспортного и экскаваторного парков ЭАК на разрезе «Талдинский» под фактический объём перевозок (674,3 тыс. тонн)

Фактически на разрезе «Талдинский» в рассматриваемый период работало 14 экскаваторов разных марок с вместимостью ковша от 6,5 м³ (РС 1250 SP-7 № 20750; Ерунаковское поле) до 56 м³ (P&H-4100XPC № 184; Талдинское поле), а также 91 самосвал с вместимостью кузова 71,2 м³ (БелАЗ-75131; 2 машины на Таёжном и 18 машин на Ерунаковском поле); 129,8 м³ (БелАЗ-75306; 44 самосвала на Талдинском и 24 машины на Таёжном поле); 199 м³ (БелАЗ-75600; 3 машины на Талдинском поле). Все вместе они погрузили и вывезли на отвалы 674,3 тыс. тонн вскрыши, из них по Талдинскому полю: самосвалами БелАЗ-75600 – 36,3 тыс. тонн, БелАЗ-75306 – 342,9 тыс. тонн; по Таёжному полю: самосвалами Бе-

лАЗ-75306 – 180,9 тыс. тонн, БелАЗ-75131 – 9,5 тыс. тонн; по Ерунаковскому полю: самосвалами БелАЗ-75131 – 104,6 тыс. тонн.

Итак, нужно сократить численность экскаваторов на одну единицу, численность самосвалов – на 8 единиц (таблица 4.15). Поскольку средневзвешенное значение вместимости кузова самосвала фактически составляет $116,85 \text{ м}^3$, а оптимальное – $124,7 \text{ м}^3$, то есть несколько ниже, сокращать по возможности надо менее мощные машины, проверяя после расчётов, попадает ли новое значение средневзвешенной вместимости кузова в оптимальный диапазон (таблица 4.11) или нет. В последующем надо скорректированный парк самосвалов перераспределить по полям разреза таким образом, чтобы новый парк машин на каждом поле обеспечивал вывоз тех же объёмов горной массы, что и до сокращения. При этом надо иметь в виду, что новый автотранспортный парк будет работать не 18,6, а 20,1 часов (фактическая и оптимальная продолжительность рабочей смены соответственно), а значит, выполнять большее количество рейсов (3647 вместо 3372 рейсов, выполненных фактически).

Аналогично нужно поступать и с экскаваторным парком. Поскольку средневзвешенное значение вместимости ковша экскаватора фактически составляет $24,15 \text{ м}^3$, а оптимальное – $22,85 \text{ м}^3$, то есть несколько выше, убирать по возможности желательно более мощные машины из имеющихся. При этом необходимо, во-первых, проверять попадание нового значения в оптимальный диапазон вместимостей ковша и, во-вторых, иметь в виду, что сокращаемый экскаватор должен соответствовать сокращаемым самосвалам (таблица 1.1).

Начинаем с сокращения автотранспортного парка. Первоначально надо просчитать, сколько рейсов будет приходиться на каждую модель самосвала при оптимальном режиме работы вместо фактических значений. Очевидно, что их число увеличится пропорционально величине $3647/3372 = 1,0818$.

Исходя из вышесказанного, сокращать нужно, прежде всего, самосвалы БелАЗ-75131. На Таёжном поле работает 2 таких самосвала, на Ерунаковском – 18. Пытаемся убрать с Таёжного поля оба самосвала БелАЗ-75131. На оставшиеся 24 самосвала БелАЗ-75306, которые работают на Таёжном поле, приходится

$822 \cdot 1,0818 = 889$ рейсов (таблица 2.5), которые могут перевезти $200 \cdot 889 = 177,8$ тыс. тонн горной массы. Фактически сменное задание в целом по Таёжному полю по данным предприятия составляет 190,4 тыс. тонн. То есть, убрав 2 самосвала БелАЗ-75131 с Таёжного поля, мы оставшимися 24 самосвалами БелАЗ-75306 не выполняем сменное задание на $(190,4 - 177,8) = 12,6$ тыс. тонн. Отсюда следует, что самосвалам БелАЗ-75306 нужно работать больше 20,1 часов.

Определить требуемую продолжительность рабочей смены можно следующим образом. Нужно вычислить количество рейсов самосвалов БелАЗ-75306 для выполнения сменного задания, которое составляет 190,4 тыс. тонн ($190400/200 = 952$ рейса). Для выполнения этого количества рейсов потребуется не 20,1, а $20,1 \cdot 952/889 = 21,5$ часа. Разница между оптимальной и установленной в результате корректировки продолжительности рабочей смены (суток) составляет $(20,1 - 21,5) = -1,4$ часа, что выходит за рамки оптимального диапазона, составляющего $\pm 0,9$ час (таблица 4.11). Следовательно, убирать 2 самосвала с Таёжного поля нельзя. Убирая один самосвал, и проводя те же расчёты, получаем: на 24 самосвала БелАЗ-75306 и один самосвал БелАЗ-75131 приходится $(822 + 73/2) \cdot 1,0818 = 929$ рейсов. Для выполнения сменного задания требуется 952 рейса. Недостаток рейсов должен компенсироваться увеличением продолжительности рабочей смены. Она составит $20,1 \cdot 952/929 = 20,6$ часа. Разница составляет +0,5 часа, что находится в пределах указанного выше оптимального диапазона.

Таким образом, из автотранспортного парка Таёжного поля без ущерба для выполнения сменного задания мы можем удалить лишь один самосвал БелАЗ-75131. Оставшиеся 25 самосвалов для выполнения сменного задания должны работать 20,6 часа.

Переходим к Ерунаковскому полю. Здесь нужно убрать максимально возможное количество самосвалов БелАЗ-75131 (на Ерунаковском поле работают только такие самосвалы) из 18 возможных. Сменное задание составляет 104,6 тыс. тонн. За $805 \cdot 1,0818 = 871$ рейс может быть перевезено $200 \cdot 871 = 174,2$ тыс. тонн (9,68 тыс. тонн на один самосвал). Тогда возможное количество сокращаемых самосвалов составит $(174,2 - 104,6)/9,68 = 7,19$ машин. Сокращаем 7 самосвалов. Ос-

тавшие 11 машин должны работать $20,1 \cdot 7 / 7,19 = 19,6$ часов. Разница составляет $(19,6 - 20,1) = -0,5$ часа, что укладывается в оптимальный диапазон $\pm 0,9$ часа.

Таким образом, сокращение численности автотранспортного парка ЭАК разреза «Талдинский» производим следующим образом: с Таёжного поля убираем один самосвал БелАЗ-75131; с Ерунаковского поля – 7 самосвалов БелАЗ-75131. Поскольку требовалось сократить в общей сложности 8 машин, то на этом можно закончить. Талдинское поле мы не трогаем вообще. Если бы суммарное количество сокращаемых самосвалов по Таёжному и Ерунаковскому полям было меньше требуемых 8 машин, пришлось бы сокращать и автотранспортный парк Талдинского поля.

На Ерунаковском поле, где произошли наибольшие сокращения автотранспортного парка (7 машин), скорее всего, и должен быть сокращён требуемый один экскаватор. Однако там работают лишь 2 экскаватора, один из которых (ЭКГ-18Р) имеет вместимость ковша 18 м^3 , второй – РС 1250SP-7 – $6,5 \text{ м}^3$. Поскольку убрать экскаватор ЭКГ-18Р невозможно из-за его большой мощности (тогда одного экскаватора РС 1250SP-7 для обслуживания 11 самосвалов будет недостаточно); сокращения экскаватора РС 1250SP-7 недостаточно из-за его малой мощности. Поэтому есть смысл обратиться к Таёжному полю, где тоже было сокращение одного самосвала. Самосвалы БелАЗ-75131 обслуживал экскаватор ЭКГ-10 (таблица 2.5). Однако он обслуживал ещё и самосвалы БелАЗ-75306. Если этот экскаватор будет обслуживать лишь один самосвал БелАЗ-75131, то у него останется больше возможностей для обслуживания БелАЗ-75306. Поэтому есть смысл сократить экскаватор ЭКГ-12, а вместо него с Ерунаковского поля перебросить дополнительно экскаватор РС 1250SP-7. Тогда на Таёжном поле вместо ЭКГ-12 будет работать экскаватор РС 1250SP-7, а на Ерунаковском поле останется лишь один экскаватор ЭКГ-18Р, которого будет достаточно для обслуживания 11 самосвалов БелАЗ-75131.

Тогда таблица средневзвешенных значений для разреза «Талдинский» по аналогии с таблицей 2.8 будет иметь следующий вид (таблица 4.16).

Таблица 4.16 – Средневзвешенные показатели экскаваторного и автотранспортного парков разреза «Талдинский» после корректировки численности по результатам исследований

Объекты	Исходные данные					Результаты расчёта		
	Количество выполненных рейсов, n_p	Вместимость ковша экскаватора, $E_K^э$, м ³	Время цикла экскаватора, $t_{ц}$, мин	Вместимость кузова самосвала, $E_K^с$, м ³	Продолжительность рейса самосвала, t_p , мин	Показатель производительности экскаваторного парка, $П^э$, м ³ /мин	Показатель производительности автотранспортного парка, $П^с$, м ³ /мин	Количество загружаемых ковшей, n_k
<i>Талдинское поле</i>								
БелАЗ-75600–Р&Н-4100ХРС	122	56	0,533	199	33,1	105,07	6,018	3,6
БелАЗ-75306–Р&Н-4100ХРС	393	56	0,533	129,8	26,5	105,07	4,894	2,3
БелАЗ-75306 – ЭКГ-15	389	15	0,467	129,8	29,8	32,12	4,358	8,7
БелАЗ-75306 – ЭКГ-18	214	18	0,450	129,8	30,5	40	4,251	7,2
БелАЗ-75306 – WK-35	690	35	0,500	129,8	27,2	70	4,777	3,7
<i>Средневзвешенные по полю</i>	<i>1808</i>	<i>34,06</i>	<i>0,498</i>	<i>134,50</i>	<i>28,4</i>	<i>69,59</i>	<i>4,734</i>	<i>3,9</i>
<i>Таёжное поле</i>								
БелАЗ-75131 – РС 1250SP-7	41	6,5	0,433	71,17	30,9	15,012	2,137	10,95
БелАЗ-75306 – РС 1250SP-7	108	6,5	0,433	129,8	33,3	15,012	4,196	20,0
БелАЗ-75306 – ЭКГ-10	372	10	0,433	129,8	34,2	23,095	3,795	13,0
БелАЗ-75306 – ЭКГ-18	230	18	0,450	129,8	31,8	40	4,079	7,2
БелАЗ-75306 – R-994	201	13	0,467	129,8	32,8	27,837	3,953	10,0
<i>Средневзвешенные по полю</i>	<i>952</i>	<i>12,01</i>	<i>0,444</i>	<i>127,28</i>	<i>32,9</i>	<i>26,92</i>	<i>3,871</i>	<i>11,7</i>
<i>Ерунаковское поле</i>								
БелАЗ-75131 – ЭКГ-18	430	18	0,450	71,17	21,8	40	3,262	4,0
<i>Средневзвешенные по полю</i>	<i>430</i>	<i>18</i>	<i>0,450</i>	<i>71,17</i>	<i>21,8</i>	<i>40</i>	<i>3,262</i>	<i>4,0</i>
<i>Средневзвешенные по разрезу</i>	<i>3190</i>	<i>24,11</i>	<i>0,475</i>	<i>123,81</i>	<i>28,2</i>	<i>50,75</i>	<i>4,389</i>	<i>6,3</i>

По сравнению с первоначальной таблицей (таблица 2.8) произошли следующие изменения. Уменьшилось необходимое количество рейсов для выполнения сменного задания в 674,3 тыс. тонн (с 3372 до 3190) в основном за счёт оптимизации продолжительности рабочей смены (суток). Как и ожидалось, немного снизилась средневзвешенная вместимость ковша экскаватора (с 24,15 до 24,11 м³). Объясняется это тем, что сокращён всего один экскаватор ЭКГ-12, но за счёт перераспределения рейсов между оставшимися экскаваторами и наличием более мощных машин, «оттягивающих» на себя большое количество самосвалов и рейсов, это практически не повлияло на средневзвешенную величину. Ожидаемо более существенно увеличилась средневзвешенная вместимость кузова самосвала (с 116,85 до 123,81 м³) за счёт того, что сокращено 8 самых маломощных из имевшегося автотранспортного парка ЭАК разреза «Талдинский» самосвалов БелАЗ-75131. В результате средневзвешенная вместимость кузова почти достигла оптимального значения 124,7 м³. Продолжительность рейса составляет заранее заданную величину – 28,2 мин. За счёт немного снизившегося средневзвешенного времени цикла экскаватора (с 0,481 до 0,475 мин) чуть увеличилась величина показателя производительности экскаваторного парка (с 50,18 до 50,75 м³/мин). Более значительно увеличилось значение показателя производительности автотранспортного парка (с 4,142 до 4,389 м³/мин) за счёт роста средневзвешенной вместимости кузова.

Удаление 8 самых маломощных из исходного автотранспортного парка ЭАК привело к тому, что увеличилось необходимое количество загружаемых ковшей (с 4,8 до 6,2), поскольку экскаваторный парк изменился мало.

Общая структурная схема формирования смешанных парков техники ЭАК с оптимальными параметрами приведена на рисунке 4.4.

Оптимизация режимов работы ЭАК однозначно сопровождается возможностью сокращения парка самосвалов, и иногда и экскаваторов. Корректировка существующих парков экскаваторов и самосвалов под работу в оптимальном режиме производится следующим образом.

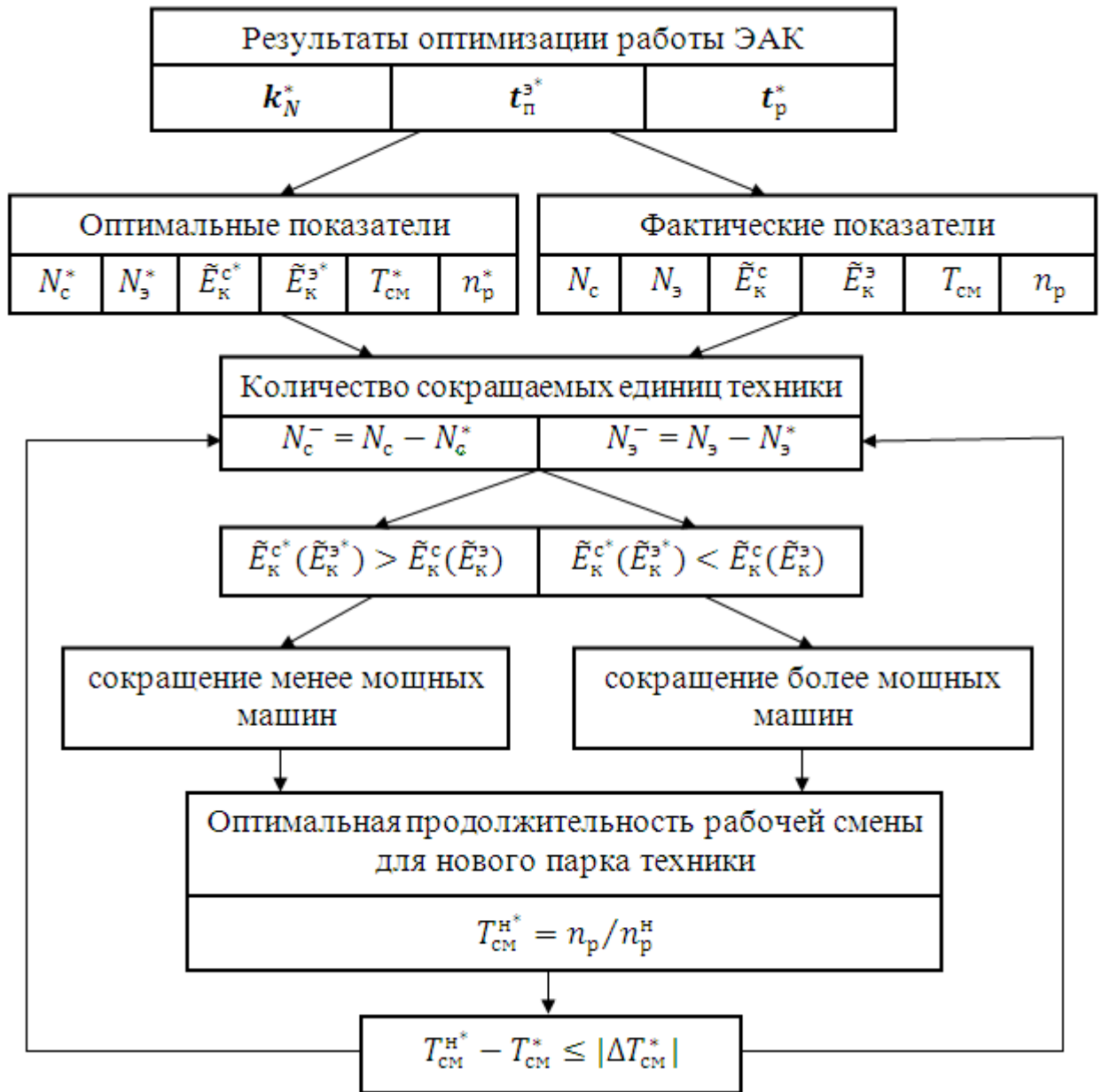


Рисунок 4.4 – Структурная схема формирования смешанных парков техники ЭАК с оптимальными параметрами

На схеме 4.4: k_N^* , $t_{п}^{э*}$, t_p^* – оптимизированные параметры ЭАК; $\tilde{E}_K^c$, $\tilde{E}_K^э$ – средневзвешенные вместимости кузова самосвала и ковша экскаватора; N_c^- , $N_э^-$ – количество сокращаемых автосамосвалов и экскаваторов соответственно; n_p^h – количество рейсов, выполненных несокращёнными самосвалами ЭАК (новый парк); $|\Delta T_{см}^*|$ – модуль оптимального диапазона изменения $T_{см}^*$ (приведено в таблице 4.11).

1. Производится сравнение оптимальных и фактических значений вместимостей ковша экскаватора $\tilde{E}_K^э$ и кузова самосвала $\tilde{E}_K^с$. Если фактические значения вместимости ковша экскаватора или кузова самосвала меньше оптимальных значений, сокращать надо менее мощные машины, и наоборот.

2. По формуле $T_{см}^{н*} = n_p/n_p^н$, где $n_p^н$ – количество рейсов, выполненных не-сокращёнными самосвалами (новый парк), определяется оптимальная продолжительность рабочей смены для нового парка машин.

3. Производится сравнение оптимальных продолжительностей рабочей смены для старого и нового парков ($T_{см}^{н*} - T_{см}^* \leq |\Delta T_{см}^*|$), где $|\Delta T_{см}^*|$ – модуль оптимального диапазона изменения $T_{см}^*$. Если неравенство выполняется, корректировка заканчивается; если не выполняется – число сокращаемых машин надо уменьшить.

4. В последующем скорректированные парки техники надо перераспределить по полям разреза (если их несколько) таким образом, чтобы новый парк машин на каждом поле обеспечивал погрузку и вывоз тех же объёмов горной массы, что и до корректировки (сокращения).

Очевидно таким же будет порядок формирования только проектируемых ЭАК. Он будет даже проще, поскольку можно будет сразу подбирать необходимые численность и структуру парков техники, а не подстраиваться под уже существующие парки.

4.4 Экономическая оценка результатов оптимизации экскаваторно-автомобильных комплексов разреза

Внедрение оптимального режима работы ЭАК однозначно сопряжено с возможностью сокращения количества карьерных самосвалов, обслуживающих экскаваторы, а иногда и самих экскаваторов. В частности, оптимальное количество самосвалов по IV варианту работы ЭАК разреза «Талдинский» под потенциально возможные объёмы погрузки и перевозок составляет 86 машин, экскаваторов – 14; под фактические – 80 самосвалов и 13 экскаваторов (таблица 4.14). Вы-

свободившиеся машины можно переместить в резерв или использовать для других целей. При этом уменьшаются капитальные и эксплуатационные затраты на «лишние» машины. Дополнительных потерь от простоев в ожидании работы не будет, поскольку численность самосвалов и экскаваторов сокращается пропорционально.

Сокращение численности парка карьерных самосвалов необходимо производить в максимально допустимых количествах, поскольку на разрезах (в том числе и на разрезе «Талдинский») обычно не хватает технологического автотранспорта, и приходится ограничиваться имеющимся парком. Тем более, парки техники на всех разрезах находятся в достаточно изношенном состоянии, что влечёт за собой более интенсивный выход из строя машин и их простои в ремонте, поэтому возможность сокращения численности машин без ущерба для выработки снижает остроту этой проблемы. При этом необходимо установить, насколько экономически целесообразно использование того или иного варианта формирования и функционирования ЭАК разрезов.

Оценка экономической эффективности предлагаемых оптимальных режимов работы ЭАК разреза «Талдинский» и численности парков карьерных самосвалов и экскаваторов проводим при следующих условиях. Рассматривается базовый вариант, когда ЭАК разреза работает по фактическому режиму с количеством самосвалов и экскаваторов, фактически работавшим («базовый»), а также по варианту IV с фактической для разреза «Талдинский» продолжительностью рейса $t_p = 28,2$ мин, и всё это для потенциально возможных и фактических объёмов погрузки и перевозок.

Здесь мы сознательно ушли от рассмотрения ещё двух проектных вариантов – оптимального (вариант I) и промежуточного (вариант II). Связано это с тем, что для достижения оптимальных режимов работы по обоим этим вариантам необходимо сократить расстояние транспортирования с 3,88 км (фактически) до 3,16 и 3,45 км соответственно. Это однозначно будет сопряжено с дополнительными затратами, оценить которые достаточно сложно. Поэтому только экономия от сокращения численности экскаваторного и автотранспортного парков без учёта этих

дополнительных затрат будет некорректно отражать результаты оптимизации. Реальную экономию от сокращения численности парков, таким образом, могут показать расчёты только для варианта IV, где для реализации оптимального режима работы ЭАК не требуется менять расстояние транспортирования.

Экономия от сокращения численности автотранспортного и экскаваторного парков по проектному варианту работы ЭАК определится по формуле:

$$\Delta = \Delta_c + \Delta_{\varepsilon} = \frac{C_c^{\text{факт}} (N_c^{\text{треб}} - N_c^{\text{факт}})}{T_{\text{ок}}^c} + \frac{C_{\varepsilon}^{\text{факт}} (N_{\varepsilon}^{\text{треб}} - N_{\varepsilon}^{\text{факт}})}{T_{\text{ок}}^{\varepsilon}}, \quad (4.33)$$

где $C_c^{\text{факт}}$, $C_{\varepsilon}^{\text{факт}}$ – фактическая цена высвобождаемых карьерных самосвала и экскаватора соответственно, руб.;

$N_c^{\text{треб}}$, $N_{\varepsilon}^{\text{треб}}$ – количество самосвалов и экскаваторов, требуемых для выполнения сменного задания для проектного варианта;

$N_c^{\text{факт}}$, $N_{\varepsilon}^{\text{факт}}$ – количество самосвалов и экскаваторов, использованных фактически в рассматриваемый период на разрезе «Талдинский»;

$T_{\text{ок}}^c$, $T_{\text{ок}}^{\varepsilon}$ – срок окупаемости самосвалов и экскаваторов соответственно, лет.

Таким образом, если рассматривать вариант оптимизации конкретных парков техники разреза «Талдинский» (таблица 4.15), то в качестве $C_c^{\text{факт}}$ и $C_{\varepsilon}^{\text{факт}}$, а также $T_{\text{ок}}^c$ и $T_{\text{ок}}^{\varepsilon}$ следует брать величины для самосвала БелАЗ-75131 (сокращается 8 единиц) и экскаватора ЭКГ-12 (сокращается 1 единица). Если считать, что «лишний» самосвал или экскаватор можно не приобретать при обновлении парков, вместо $C_c^{\text{факт}}$ и $C_{\varepsilon}^{\text{факт}}$ можно принимать стоимости новых машин, и тогда в формуле (4.33) в качестве $T_{\text{ок}}^c$ и $T_{\text{ок}}^{\varepsilon}$ будут фигурировать нормативные величины.

Цена самосвала БелАЗ-75131 по данным УК «Кузбассразрезуголь» составляет 478,2 тыс. долларов (35,9 млн. рублей при 75 рублях за доллар). Нарботка на 90%-ный ресурс для самосвала БелАЗ-75306, согласно паспорту транспортного средства, предоставленному заводом-изготовителем, составляет 800 тыс. км (то есть нормативное значений $T_{\text{ок}}^c$ составляет примерно 7 лет).

Цена экскаватора ЭКГ-12 по данным Компании составляет 68 млн. рублей. Нормативный срок окупаемости экскаватора ЭКГ-12 $T_{ок}^э$ по данным завода-изготовителя составляет 10 лет. Результаты расчётов сведены в таблицу 4.17. При расчётах использовались данные таблицы 4.15.

Таблица 4.17 – Основные технико-экономические показатели работы экскаваторно-автомобильного комплекса разреза «Талдинский»

Показатель	Варианты ЭАК	
	«базовый»	«проектный IV»
Численность экскаваторного парка, ед.	14	14 (13)
Численность автотранспортного парка, ед.	91	89 (83)
Экономия от сокращения численности экскаваторного парка, $\mathcal{E}_э$, млн. руб./год		0 (6,8)
Экономия от сокращения численности автотранспортного парка, $\mathcal{E}_с$, млн. руб./год		10,3 (40,9)
Общая экономия, $\mathcal{E}$, млн. руб./год		10,3 (47,7)

Примечание. Представлена требуемая численность автотранспортного и экскаваторного парков ЭАК на разрезе «Талдинский» под оптимальный объём перевозок (746,0 тыс. тонн), в скобках – под фактический (674,3 тыс. тонн).

Таким образом, задача синтеза оптимальных параметров работы ЭАК и формирования на их основе смешанных парков погрузочно-транспортной техники разрезов решена.

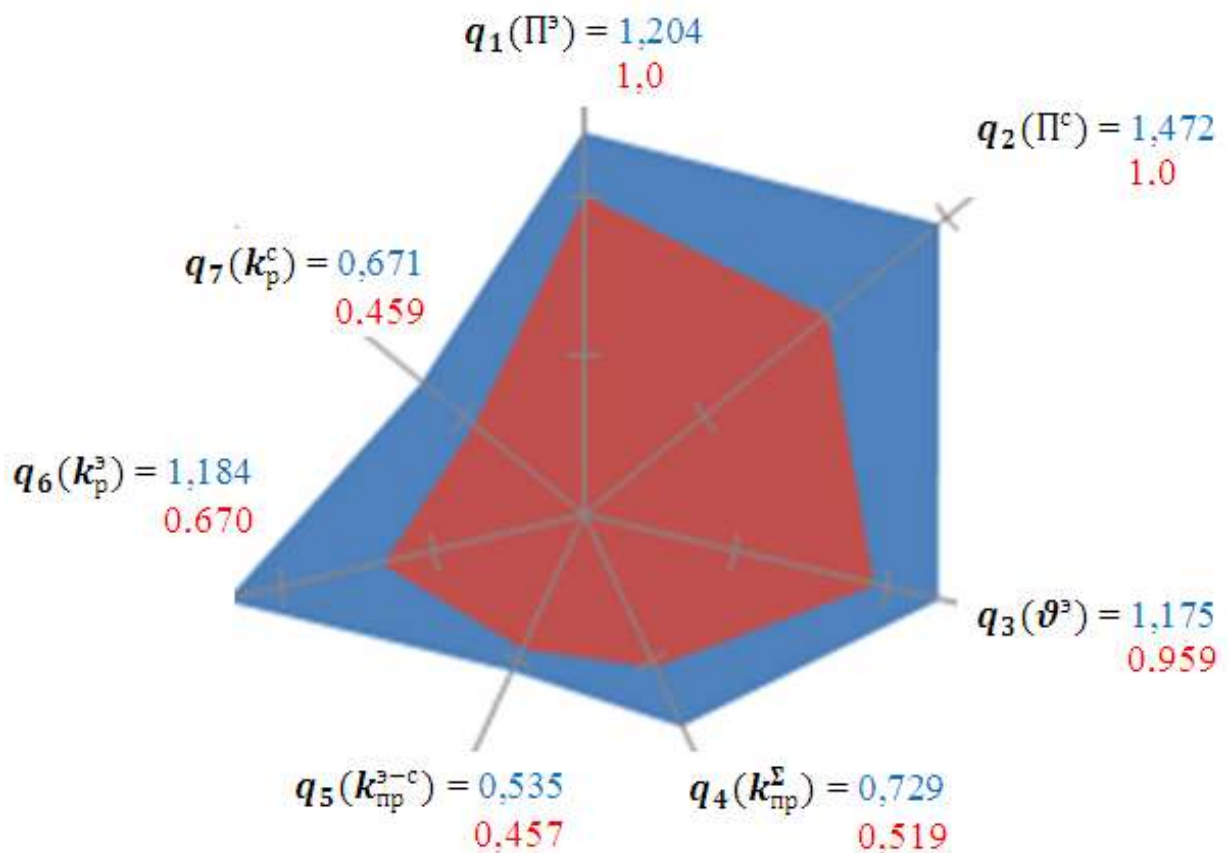
Разработанные методики оценки качества, оптимизации его показателей и синтеза из них оптимальных режимных параметров работы ЭАК позволяют при заданных требованиях установить и оптимально согласовать основные показатели работы ЭАК.

Обобщая результаты проведённых исследований, можно определить уровень качества работы ЭАК, в которых реализованы рекомендации данной работы.

Показатели качества работы ЭАК разрезов в сравнении с ЭАК разреза-аналога «Талдинский» приведены в таблицах 4.11 и 4.12. Результаты расчётов по проектным вариантам II и IV представлены на рисунке 4.5.

Комплексный показатель качества функционирования ЭАК для варианта II составил $k^* = 1,246$, что на 40,85% выше, чем у разреза-аналога «Талдинский» ($k = 0,737$). Для варианта IV $k^* = 1,100$ и это превышение составляет 33,0%. Функциональные критерии при этом составляют $\lambda^* = 0,895$ и $0,793$, что превышает аналогичный показатель для разреза «Талдинский» ($\lambda = 0,704$) соответственно на 21,3% и 11,2%. Значение функционального критерия для варианта II попадает в диапазон оптимальных значений ($1 \geq \lambda^0 \geq 0,9$); для варианта IV его значение хотя и не попадает в данный диапазон, однако всё равно лучше фактического [117].

Вариант II



Вариант IV

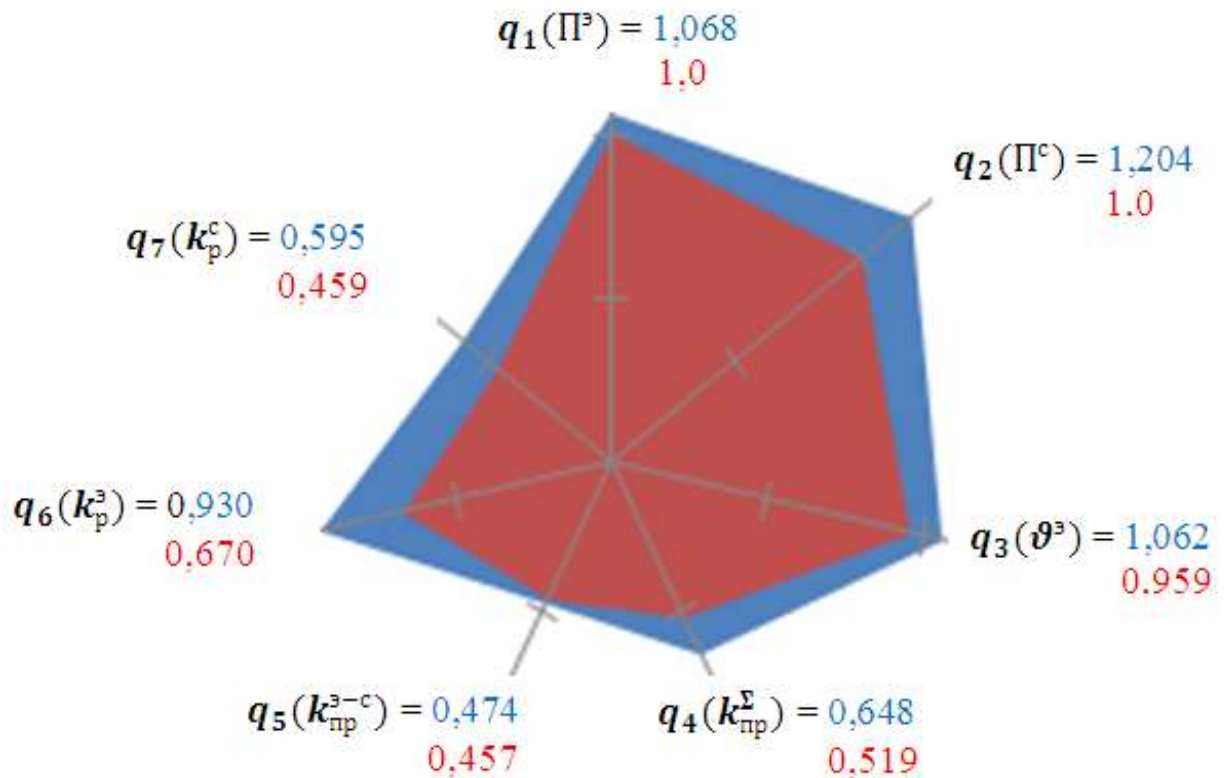


Рисунок 4.5 – Диаграммы единичных показателей качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов по результатам исследований (красным цветом – по фактическим данным разреза «Талдинский», синим – по результатам исследований)

Разработанные на основе проведённых исследований рекомендации по определению оптимальных параметров и показателей работы действующих и вновь проектируемых ЭАК, а также материалы по оценке качества функционирования ЭАК действующих предприятий переданы АО «УК «Кузбассразрезуголь» и НФ «КУЗБАСС-НИИОГР».

Они могут быть использованы как механизм выбора из предлагаемой экскаваторной и автомобильной техники перспективных моделей, создания погрузочно-транспортных комплексов нового поколения с возможностью адаптации их к конкретным условиям эксплуатации.

ВЫВОДЫ

1. Проведённые исследования показали, что для достижения оптимального уровня качества работы ЭАК действующих разрезов необходимо обеспечить достижение значений показателей в диапазонах: количество самосвалов на один экскаватор – $4,9 \div 6,3$; время загрузки самосвала экскаватором – $3,2 \div 3,9$ мин; продолжительность рейса самосвала – $17,6 \div 28,8$ мин. Это позволяет либо повысить суточную выработку ЭАК, либо сократить численность автотранспортного и экскаваторного парков разреза, на 9%. При изменении горнотехнических условий разрезов (численный и типоразмерный состав парков техники, расстояния транспортирования, уровень простоев, и т.д.) оптимальное решение может корректироваться.

2. Установлено, что в осенне-весенний период года продолжительность рейса самосвалов t_p по сравнению с летним увеличивается на 11%; время загрузки самосвала экскаватором $t_{п}^э$ не изменяется; функциональный критерий λ – снижается на 11%, а комплексный коэффициент качества функционирования ЭАК k – на 12,8%.

3. Базой для синтеза оптимальных параметров ЭАК и формирования на их основе оптимальных парков погрузочно-транспортной техники является обеспечение оптимального функционирования ЭАК как единой системы в составе разреза с учётом существующих оптимальных взаимосвязей параметров между собой.

4. Общая экономия от сокращения численности экскаваторного и автотранспортного парков ЭАК разреза «Талдинский» при фактических объёмах погрузки и перевозок может составить 47,7 млн. рублей в год из расчёта 75 рублей за доллар.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе содержится новое решение актуальной научной задачи оптимизации параметров экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов, позволяющее повысить качество их функционирования, что имеет существенное значение для развития теории и практики проектирования горных погрузочно-транспортных комплексов.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем.

1. Анализом установлено, что эволюционный путь развития карьерных ЭАК, связанный с увеличением единичной мощности погрузочно-транспортной техники, не является приемлемым, так как это не обеспечивает соответствующего роста производительности ЭАК и улучшения показателей их использования. Для создания карьерных ЭАК высокого качества необходимо исходить из системного подхода к ЭАК как сложному техническому комплексу в составе общей горно-транспортной системы ОГР.

2. В результате произведенной сравнительной интегральной оценки уровня качества работы ЭАК действующих разрезов установлено, что перспективным направлением его повышения является оптимизация функционирования ЭАК, позволяющая установить и оптимально сбалансировать основные параметры ЭАК и реализовать их на стадиях проектирования и эксплуатации.

3. На основе системного анализа и методов интегральной оценки качества разработана математическая модель оптимизации работы ЭАК, которая позволяет установить оптимальные значения параметров, достижение которых обеспечивает оптимальный уровень качества работы действующих и вновь проектируемых ЭАК.

4. Исследованиями установлено, что для достижения оптимального уровня качества работы ЭАК действующих и вновь проектируемых разрезов необходимо обеспечить достижение значений параметров в диапазонах: количество самосвалов на один экскаватор – $4,9 \div 6,3$; время загрузки самосвала экскаватором –

3,2÷3,9 мин; продолжительность рейса самосвала – 17,6÷28,8 мин. Это позволяет либо повысить суточную выработку ЭАК, либо сократить численность автотранспортного и экскаваторного парков разреза, на 9%. При изменении горнотехнических условий разрезов оптимальное решение может корректироваться.

5. Установлено, что обеспечение оптимального функционирования ЭАК как единой системы в составе разреза с учётом существующих оптимальных взаимосвязей параметров между собой является базой для синтеза оптимальных параметров ЭАК и формирования на их основе оптимальных парков погрузочно-транспортной техники.

6. Реализация научно-методических рекомендаций диссертационной работы позволяет повысить уровень качества работы ЭАК на 33% по сравнению с лучшим из ЭАК существующих разрезов, и на 53% – по сравнению с уровнем качества работы ЭАК УК «Кузбассразрезуголь» в целом. Они могут быть использованы научно-исследовательскими, проектными и эксплуатирующими организациями для выбора из предлагаемой экскаваторной и автомобильной техники перспективных моделей, создания карьерных погрузочно-транспортных комплексов нового поколения с возможностью адаптации их к конкретным условиям эксплуатации. Общая экономия от сокращения численности экскаваторного и автотранспортного парков ЭАК разреза «Талдинский» при фактических объёмах погрузки и перевозок может составить 47,7 млн. рублей в год.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

Дальнейшие исследования в области оценки качества и оптимизации режимов работы горных комплексов предполагается проводить по следующим направлениям:

1. Распространение проведенных исследований по функционированию ЭАК на добычные и смешанные работы.
2. Применение разработанных методик для исследования и оптимизации горных комплексов другого технологического назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таразанов И.Г., Губанов Д.А. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2020 года // Уголь. 2021. № 3. С. 27-43.
2. Братченко Б.Ф. Уголь Сибири и Дальнего Востока. М.: Недра, 1980. 62 с.
3. Ждамиров В.М. Проблемы открытого способа добычи угля и пути их решения в Российской Федерации // Уголь. 1992. № 10. С. 3-7.
4. Трубецкой, К.Н. Современные системы управления горнотранспортными комплексами // К.Н. Трубецкой, А.А. Кулешов, А.Ф. Клебанов, Д.Я. Владимиров / под ред. акад. РАН К.Н. Трубецкого. СПб.: Наука, 2007. 306 с.
5. [http: // www. kru. ru / index 1. htm 1.](http://www.kru.ru/index1.htm)
6. Воронов, Ю.Е. Характеристика экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов Кузбасса / Ю.Е. Воронов, А.Ю. Воронов, Р.В. Ожогин, А.В. Карин, А.Ю. Воронов // Сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая», 24-27 апр. 2020 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева». Кемерово, 2020. 52602.1-7.
7. Воронов А.Ю. Оптимизация показателей эксплуатационной производительности экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. КузГТУ, Кемерово, 2015. 19 с.
8. Твердов, А.А. Современные системы транспортировки полезных ископаемых и вскрышных пород / А.А. Твердов, А.В. Жура, С.Б. Никишичев // Горная промышленность. 2012. №2. С. 96-98, 100.
9. Ганицкий, В.Н. Совершенствование организации производства – ключевой фактор повышения эффективности работы карьеров / В.Н. Ганицкий, А.М. Макаров, В.А. Пикалов, В.Н. Лапаев, А.В. Соколовский // Горный журнал. 2009. №11. С. 34-36.
10. Ильин, С.А. Повышение экономической эффективности открытых горных работ / С.А. Ильин, В.С. Коваленко, Д.В. Пастихин // Горный журнал. 2012. №6. С. 56-65.

11. Инструкция по учёту рабочего времени технологического автотранспорта. Кемерово: ОАО «УК «Кузбассразрезуголь»». 2004. 11 с.

12. Корницкая Е.А. Анализ влияния простоев на эффективность работы технологического автотранспорта: Профессиональные знания и навыки молодежи – будущий капитал компании // Сборник докладов III молодежной научно-практической конференции / ООО «УГМК-Холдинг». Верхняя Пышма, 2008. С. 61-65.

13. Современные тенденции рынка экскаваторов для горных предприятий мира, России и стран СНГ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://maxi-exkavator.ru/articles/exkavators/~id=1554/>. Загл. с экрана.

14. Зарубежные карьерные гусеничные одноковшовые гидравлические экскаваторы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sпец-техника.ru/?page=issue&pid=100775&sub=100005&item=>. Загл. с экрана.

15. ОМЗ изготовили первый в России серийный гидравлический карьерный экскаватор ЭГ-110 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.metalinfo.ru/ru/news/19713>. Загл. с экрана.

16. Ковригин В.Д. Новые российские карьерные экскаваторы // Горная промышленность. 2006. №6. С. 78-79.

17. Новости и пресс-релизы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.omz.ru/>. Загл. с экрана.

18. Молодцев В.И. Повышение качества экскаваторов ООО «ОМЗ – Горное оборудование и технологии» // Горное оборудование и электромеханика. 2007. №12. С. 15-16.

19. Новости горной и карьерной техники [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://maxi-exkavator.ru/news/inf_news/~id=541. Загл. с экрана.

20. Пархомчик, П.А. Большегрузные карьерные самосвалы, дорожно-строительное и вспомогательное горнотранспортное оборудование – серийная продукция ПО «БелАЗ» сегодня / П.А. Пархомчик, А.Н. Егоров, О.Г. Степук, С.И. Коростелёв, А.С. Урбанович // Горный журнал. 2008. № 9. С. 4-14.

21. Егоров А.Н., Коростелёв С.И. Новая техника с маркой «БелАЗ» и «Мо-АЗ» // Горный журнал. 2008. № 9. С. 54-60.
22. Буткевич Г.Р. Анализ способов разрушения скальных пород // Горный журнал. 1997. № 10.
23. Кононыхин Б.Д., Примаков А.В. Системная оценка целесообразности производства новой техники // Строительные и дорожные машины. 2004. № 1.
24. ГОСТ Р 55165-2012. Оборудование горношахтное. Экскаваторы одноковшовые карьерные с вместимостью ковша свыше 4 м³. Общие технические требования и методы испытаний». М.: Изд-во стандартов, 2013. 16 с.
25. ГОСТ 30537-97. Самосвалы карьерные. Общие технические условия. Минск: Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1998. 20 с.
26. ГОСТ Р ИСО 9001-2008. Системы менеджмента качества. Общие технические условия. Введ. 2009–11–13. М.: Стандартиформ, 2008. 65 с.
27. ГОСТ 2.116–84. Карта технического уровня и качества продукции. Введ. 1985–07–01. М.: Изд-во стандартов, 2007. 15 с.
28. Домбровский Н.Г. Исследование экскаваторов и кранов. Сборник статей. М.: Машиностроение, 1974. 179 с.
29. Домбровский Н.Г. Экскаваторы. Общие вопросы теории, проектирования, исследования и применения. М.: Машиностроение, 1969. 319 с.
30. Кулешов А.А., Марголин И.И. Пневмоколесные машины с бортовыми приводами и мотор-колесами. М.: Машиностроение, 1995. 312 с.
31. Бурдаков В.Д. Квалиметрия транспортных средств. Методика оценки эффективности использования. М.: Изд-во стандартов, 1990. 160 с.
32. Смирнов В.П., Могилат В.Л. Технический уровень карьерных самосвалов и пути его повышения // Совершенствование эксплуатации и повышение технического уровня карьерного транспорта: Сб. науч. тр. / ИГД МЧМ СССР. Свердловск, 1986. С. 7-13.
33. Безвзрывные технологии открытой добычи твёрдых полезных ископаемых / [А.Р. Маттис и др.]; отв. ред. В.Н. Опарин; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние,

Ин-т горного дела, Ин-т горного дела Севера; Урал. отд-ние, Ин-т горного дела. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 337 с.

34. Алпеева О.Г. Разработка моделей функционирования систем «экскаватор – автомобили»: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СибАДИ, Омск, 2007. 18 с.

35. Зарипова С.Н. Обеспечение безопасного функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов угледобывающих предприятий: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Кемерово, 2008. 34 с.

36. Зарипова С.Н. Оптимизация работы экскаваторно-автомобильных комплексов // Известия вузов. Горный журнал. 2007. №3. С. 104-108.

37. Исайченков А.Б. Оптимизация сопряжено выполняемых технологических процессов вскрышных работ при применении современных экскаваторно-автомобильных комплексов (на примере разреза «Тугнуйский»): автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2017. 23 с.

38. Глебов А.В. Методика формирования парка карьерных самосвалов // Горный журнал. 2012. №1. С. 75-78.

39. Лель, Ю.И. К вопросу повышения точности оценки показателей эксплуатации карьерного автотранспорта / Ю.И. Лель, А.В. Глебов, О.В. Мусихина // Горное оборудование и электромеханика. 2015. № 8. С. 24-30.

40. Лель, Ю.И. Направления повышения эффективности экскаваторно-автомобильных комплексов угледобывающих предприятий / Ю.И. Лель, А.Л. Жуков, Н.А. Николаев, А.В. Семенкин // Горный журнал. Известия вузов. 2013. № 2. С. 29-36.

41. Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А., Шестаков В.С. Проектирование карьерных экскаваторов. М.: Инновационное машиностроение, 2017. 228 с.

42. Симонов В.А., Комиссаров А.П. Оптимизация горных машин и оборудования для эксплуатации в горнотехнических условиях // Уральская горная школа – регионам / Материалы международной научно-практической конференции. Уральский государственный горный университет. Екатеринбург, 2020. С. 177-179.

43. Чаадаев А.С., Зырянов И.В. Проблема транспортирования горной массы при отработке алмазоносных трубок с использованием механических транспорт-

ных средств // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № 6. С. 222-229.

44. Зырянов И.В., Решетников С.В. К вопросу о выборе вида карьерных автосамосвалов для кимберлитовых карьеров Якутии // Горное оборудование и электромеханика. 2014. №2. С. 22-25.

45. Вуейкова О.Н. Обоснование рациональной структуры экскаваторно-автомобильного комплекса горнорудного карьера: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Оренбург, 2013. 15 с.

46. Вуейкова, О.Н. Моделирование работы экскаваторно-автомобильного комплекса при перевозке горнорудной массы в карьерах / О.Н. Вуейкова, О.Н. Ларин, В.И. Куватов // Транспорт Урала. 2013. №1(36). С.20-24.

47. Глебов А.В., Кармаев Г.Д. Основные принципы формирования автомобильного парка горнодобывающего предприятия // Горное оборудование и электромеханика. 2010. №7. С. 37-41.

48. Сысоев А.А., Литвин О.И. Управление количественным составом транспортного звена экскаваторно-автомобильного комплекса // Уголь. 2009. №2. С. 24-25.

49. Захаров А.Ю., Воронов А.Ю. О возможности и перспективах выбора рациональных парков экскаваторно-автомобильного комплекса // Перспективы развития горнотранспортного оборудования: Сб. статей. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). М.: изд-во Горная книга. 2011. №ОВ5. С. 32-39.

50. Вуейкова, О.Н. Усовершенствование парка автомобильного транспорта при перевозке горнорудной массы в карьерах / О.Н. Вуейкова, А. Сладковский, И.Н. Столповских, М.И. Ахметова // Transport Problems. Польша, г. Катовице. 2016. Volume 11 Isnee. S. 79-85.

51. Ахметова, М.И. Возможности увеличения производительности экскаваторно-автомобильного комплекса на открытых горных работах / М.И. Ахметова, А.Д. Кольга, К.К. Елемесов, И.Н. Столповских // Горный журнал Казахстана, Алматы. 2018. №2. С. 25-27.

52. Вуейкова О.Н. Теоретическое обоснование влияния структуры парка автосамосвалов на простой экскаваторно-автомобильного комплекса открытых горнорудных карьеров // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. Том 3, №1. С. 192-198.

53. Плютов Ю.А. Оценка эффективности эксплуатации погрузочно-транспортного комплекса открытых горных работ // Горное оборудование и электромеханика. 2008. №1. С. 4-7.

54. Захаров А.Ю., Воронов Ар.Ю. Влияние некоторых факторов на производительность экскаваторно-автомобильных комплексов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. №1. С.74-76.

55. Дриженко А.Ю., Рыкус А.А. Обоснование параметров экскаваторно-автомобильных комплексов для железорудных карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технического журнал). 2002. №1.

56. Журавлёв А.Т., Скороходов А.В. К вопросу обоснования производительности экскаваторно-автомобильных комплексов методом компьютерного моделирования // Проблемы недропользования. 2015. №2. С. 53-60.

57. Самолазов, А.В. Основные тенденции развития экскаваторно-автомобильных комплексов / А.В. Самолазов, Н.И. Паладеева, А.А. Беликов // Горная промышленность. 2009. №4(86). С. 20-23.

58. Солод Г.И., Шахова К.И., Русихин В.И. Повышение долговечности горных машин. М.: Машиностроение, 1979. 184 с.

59. Сборник нормативно-технических и руководящих документов для работников Госприемки: В 3 ч. М.: Изд-во стандартов, 1987. 4.2.: Оценка качества и аттестация продукции. 352 с.

60. Солод Г.И. Основы квалиметрии. М.: МГИ, 1991. 84 с.

61. Солод Г.И. Проблемы оценки и повышения уровня качества горной техники // Известия вузов. Горный журнал. 1985. № 5. С. 83-87.

62. Воронов Ю.Е. Оптимальное проектирование карьерных горных машин. М.: Инновационное машиностроение, 2015. 351 с.

63. Макаров В.В. Повышение эффективности работы мощных экскаваторно-автомобильных комплексов карьеров на базе экспертных систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 Екатеринбург, 2006. 16 с.

64. Данияров А.Н. Определение коэффициентов весомости при количественной технико-экономической оценке машин и оборудования // Известия вузов. Горный журнал. 1992. № 12. С. 82-83.

65. Гришпун З.С., Данияров А.Н. Обоснование весовых коэффициентов при комплексной технико-экономической оценке транспортных машин // Известия вузов. Горный журнал. 1981. № 2. С. 55-58.

66. Данияров А.Н., Хайруллин Т.Х. Сравнительная оценка коэффициентов весомости, используемых при технико-экономических расчетах // Известия вузов. Горный журнал. 1982. № 6. С. 74-77.

67. Семёнов Г.М. Определение научно-технического уровня технических объектов // Горный журнал. 1989. № 9. С. 18-20.

68. Скорняков Н.М. Теоретические основы проектирования станков вращательного бурения нового технического уровня для угольных шахт: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Кемерово, 1992. 34 с.

69. Скорняков Э.П. и др. Оценка технического уровня продукции – необходимое условие выхода на рынок. М.: ВНИИПИ, 1993. 197 с.

70. РТМ 24.072.19-80. Метод расчета обобщенного показателя ремонтпригодности экскаваторов. Свердловск, 1980. 14 с.

71. Буянкин А.В. Комплексная оценка и прогнозирование показателей качества эксплуатации карьерных автосамосвалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово: 2004. 18 с.

72. Александров Б.А. Экспериментально-теоретические основы повышения качества взаимодействия механизированных крепей с боковыми породами: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск, 1987. 37 с.

73. Нестеров В.И. Экспериментально-теоретические основы повышения качества процесса взаимодействия рабочих органов очистных комбайнов с разрушаемым массивом: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Кемерово, 1989. 38 с.

74. Радкевич Я.М. Методология прогнозирования параметров горных машин (на примере очистных комбайнов): автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1993. 36 с.

75. Елманов В.Д. Обоснование параметров и разработка функциональных элементов шахтных скребковых конвейеров нового технического уровня: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Кемерово, 1995. 38 с.

76. Квагинидзе В.С. Диагностика, техническое обслуживание и ремонт карьерного горнотранспортного оборудования в условиях низких температур: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Кемерово, 2003. 39 с.

77. Корецкий В.Б. Оценка и повышение ремонтной технологичности большегрузных карьерных автосамосвалов на угольных разрезах Севера: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Нерюнгри: ТИ (Ф) ЯГУ, 2001. 29 с.

78. Пржежецкий В.В. Исследование и разработка мероприятий по повышению качества эксплуатации экскаваторного парка объединения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МГИ, 1991. 18 с.

79. Шамсутдинов А.С. Оценка и повышение уровня качества использования драглайна: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МГИ, 1984. 17 с.

80. Басманов С.В. Оптимизация параметров карьерных автосамосвалов для повышения их технического уровня: автореф. дис. ... канд. техн. наук. КузГТУ, Кемерово, 2012. 19 с.

81. Нанзад Ц. Управление качеством функционирования экскаваторов на карьерах Монголии: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Иркутск, 1998.

82. Зыков П.А. Повышение технического уровня карьерных одноковшовых гидравлических экскаваторов на стадии проектирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук. КузГТУ, Кемерово, 2013. 18 с.

83. Воронов, Ю.Е. Комплексная оценка технического уровня механического оборудования карьеров / Ю.Е. Воронов, А.В. Косолапов, Ан.Ю. Воронов, В.Г. Ромашко, Ар.Ю. Воронов // Горное оборудование и электромеханика. 2019. № 4. С. 26-33.

84. Ланцов В.А. Прогнозирование эффективности механизации: методы и практика применения в строительстве. Л.: Стройиздат, 1982. 176 с.

85. Шейнбаум В.С., Шмидт А.П. Применение метода функции полезности для оценки технического уровня бурового оборудования на стадии проектирования // Известия вузов. Нефть и газ. 1989. № 1. С. 85-91.

86. Баймолдаев Т.А. Методика оценки технического уровня одноковшовых экскаваторов // Механизация строительства. 2007. №2. С. 27-29.

87. Нанзад Ц., Гэрэлд-Од Д. К определению функционального критерия экскаваторно-автомобильного комплекса // Горные машины и автоматика. 2004. № 4. С. 35-36.

88. Нанзад Ц. Оценка уровня качества погрузочно-транспортного комплекса для Баганурского угольного разреза // Горные машины и автоматика. 2004. № 1. С. 47-48.

89. Ахметова М.И. Комплексная оценка и способы повышения качества эксплуатации карьерных автосамосвалов: автореф. дис. ... д-ра философии (PhD) / Республика Казахстан, Алматы, 2019.

90. Акашев, З.Т. Методика сравнительной оценки комплексов самоходного горного оборудования / З.Т. Акашев, Н.А. Данияров, Б.В. Тогизбаева // Прогресивні технології і системи машинообудавання. – Донецьк, Донецький національний технічний університет. 2008. №1(35). С. 7-16.

91. Воронов, Ю.Е. Функциональный критерий качества функционирования карьерного экскаваторно-автомобильного комплекса / Ю.Е. Воронов, А.А. Хорешок, Ан.Ю. Воронов, Н.А. Стенина, Ар.Ю. Воронов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2019. № 3. С. 54-60.

92. Voronov, An. Operation Quality Indicators for Shovel-Truck Systems at Open-Pit Coal Mines / An. Voronov, Yu. Voronov, Ar. Voronov, N. Demirel. // The IVth International Innovative Mining Symposium (Devoted to Russian Federation Year of Environment). Kemerovo, Russian Federation, November 20-22, 2019. E3S Web of Conferences, Volume 105, 01058.

93. Burt, C. N. Match factor for heterogeneous truck and loader fleets / C. N. Burt, L. Caccetta // *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*. 2007. 21, № 4. P. 262-270.

94. Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю., Щадов М.И. Справочник по открытым горным работам. М.: НТЦ «ГОРНОЕ ДЕЛО», 2010. 700 с.

95. Ильин С.А., Коваленко В.С., Пастихин Д.В. Повышение экономической эффективности открытых горных работ // *Горный журнал*. 2012. № 6. С. 56-65.

96. Getin N. Open-pit truck/shovel haulage system simulation // Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Turkey. 2004. 133 p.

97. Воронов Ар.Ю. Анализ критериев оптимизации непрерывного распределения карьерных автосамосвалов по пунктам погрузки // *Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: Сибресурс 2010. Т. 1: материалы XIII международной научно-практической конференции, Кемерово, ГУ КузГТУ, 28-29 октября 2010 г. Кемерово, 2010. С. 188-192.*

98. Vemba M.M. Loading and transport system at SMC-Optimization // *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. Apr 2004. P. 139-147.

99. Krzyzanowska J. The impact of mixet fleet hauling on-mining operations at Venetia mine // *The Journal ... and Metallurgy*. Apr 2007. Vol. 107. P. 215-224.

100. Mkhathswa S.V. Optimization of the loading and hauling fleet at Mamatvan open pit mine // *The Journal ... Metallurgy*. Apr 2009. Vol. 109. P. 223-232.

101. Воронов, Ан.Ю. Обоснование показателей качества функционирования карьерного экскаваторно-автомобильного комплекса / Ан.Ю. Воронов, А.А. Хорешок, Ю.Е. Воронов, В.Л. Жданов, Ар.Ю. Воронов // *Горное оборудование и электромеханика*. 2019. № 4. С. 3-9.

102. Воронов, Ан.Ю. Оценка качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов Кузбасса / Ан.Ю. Воронов, А.А. Хорешок, Ю.Е. Воронов, А.В. Буянкин, Ар.Ю. Воронов // *Горное оборудование и электромеханика*. 2020. № 2. С. 19-26.

103. Воронов, Ан.Ю. Сравнительная оценка качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов в летний и переходный периоды года / Ан.Ю. Воронов, Ю.Е. Воронов, В.Г. Ромашко, Ар.Ю. Воронов // Горное оборудование и электромеханика. 2021. № 2. С. 11-16.
104. Меерович Г.А. Эффект больших систем. М.: Знание, 1985. 192 с.
105. Острейковский В.А. Теория систем. М.: Высшая школа, 1997. 240 с.
106. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения. Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1985. 199 с.
107. Дитрих Я. Проектирование и конструирование. Системный подход / Пер. с польск. Л.В. Левицкого, Б.А. Чванова: Под ред. В.М. Броднянского. М.: Мир, 1981. 454 с.
108. Крайнев А.Ф. Идеология конструирования. М.: Машиностроение, 2003. 384 с.
109. Полетаев В.А. Основы управления качеством функционирования машин. Кемерово: КузГТУ, 1993. 234 с.
110. Воронов, Ан.Ю. Об оптимальном проектировании карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов / Ан.Ю. Воронов, А.А. Хорешок, Ю.Е. Воронов, Ар.Ю. Воронов // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: сб. материалов III Международной научно-практической конференции, 11-17 октября 2019 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева». Кемерово, 2019. С. 238-240.
111. Бондарь А.Г. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии. Киев: Вища школа, 1980. 264 с.
112. Шенк Х. Теория планирования инженерного эксперимента. М.: Мир, 1973. 381 с.
113. Воронов Ан.Ю. Математическая модель оптимизации работы карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов // Горное оборудование и электромеханика. 2020. № 2. С. 13-18.

114. Voronov, Yuri. Assessment and prospects for improving the technical level of surface mining machines / Yuri Voronov, Sergey Grishin, Artyom Voronov, Vladimir Romashko, Anton Voronov // The Vth International Innovative Mining Symposium (Devoted to Russian Federation Year of Environment). Kemerovo, Russian Federation, November 20-22, 2020. E3S Web of Conferences, Volume 174, 03014.

115. Ногин В.Д. и др. Основы теории оптимизации. М.: Высшая школа, 1986. 384 с.

116. Воронов, Ан.Ю. Оптимизация показателей функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов по критерию качества / Ан.Ю. Воронов, А.А. Хорешок, Ю.Е. Воронов, В.Г. Ромашко, Ар.Ю. Воронов // Горное оборудование и электромеханика. 2020. № 6. С. 19-24.

117. Воронов, Ю.Е. Влияние комбинированного цикла работы самосвалов на качество функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов / Ю.Е. Воронов, В.Г. Ромашко, Ан.Ю. Воронов, Ар.Ю. Воронов // Перспективы инновационного развития угольных регионов России [Электронный ресурс]: Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции. Прокопьевск: филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, 2020. С. 72-77.



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«УГОЛЬНАЯ КОМПАНИЯ «КУЗБАССРАЗРЕЗУГОЛЬ»

Пионерский бульвар, 4а, г. Кемерово, Россия, 650054
Тел. (3842)44-03-00 факс (3842)44-06-58 E-mail: office@kru.ru
ОКПО 14788090 ОГРН 1034205040935 ИНН/КПП 4205049090/420501001



25.06.2021 № 01-1042

на № _____ от _____

Настоящим подтверждается, что АО «Угольная компания «Кузбассразрезуголь» приняты к использованию следующие результаты кандидатской диссертации Воронова Антона Юрьевича:

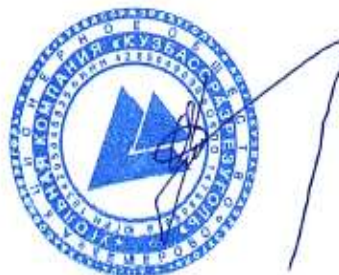
- методика интегральной оценки качества карьерных ЭАК как механизм выбора из предлагаемой экскаваторной и автотранспортной техники перспективных для Компании моделей;

- методика оптимизации показателей работы ЭАК и формирования смешанных парков погрузочно-транспортной техники, использование которой дает возможность адаптировать вновь создаваемые экскаваторно-автомобильные комплексы к условиям конкретных бассейнов.

Реализация изложенных материалов подтверждается практикой многолетнего научно-технического сотрудничества между АО УК «Кузбассразрезуголь» и Кузбасским государственным техническим университетом, где выполнялась диссертационная работа.

Начальник управления
автомобильного транспорта
АО «УК «Кузбассразрезуголь»

«25» 06 2021 г.



С.М. Рябкин

НОВАЦИОННАЯ ФИРМА

INNOVATION FIRM

КУЗБАСС-НИИОГР



KUZBASS-NIIOGR

Почтовый адрес:

650054, Кемерово, Пионерский бульвар, 4а
 e-mail: firma@kuzbass-niio.gr.ru
 www: kuzbass-niio.gr.ru

Юридический и фактический адрес:

г. Кемерово, Пионерский бульвар, стр. 3, офис 205
 тел./факс: (3842)-90-19-76 (многоканальный), 52-33-56
 ИНН 4207018964 КПП 420501001

12.10.2021 №1-0932



Утверждаю:

Директор

Новационной фирмы
 «КУЗБАСС-НИИОГР»,
 канд. техн. наук

С.И. Протасов

« 12 » 10 2021 г.

СПРАВКА

об использовании результатов научных исследований
 Воронова Антона Юрьевича

Новационной фирмой «КУЗБАСС-НИИОГР» рассмотрена разработанная аспирантом КузГТУ А.Ю. Вороновым в ходе диссертационных исследований комплексная методика интегральной оценки качества карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов и оптимизации показателей их функционирования на примере предприятий АО «УК «Кузбассразрезуголь».

Методика базируется на основополагающих принципах квалиметрии и системного подхода, вносит весомый вклад в разработку научных основ создания карьерных выемочно-погрузочных и транспортных комплексов нового поколения.

Методику оценки качества функционирования предполагается использовать как для сравнительного анализа качества предлагаемой производителями экскаваторной и автотранспортной техники, необходимого на стадии приобретения наиболее перспективных моделей, так и для оценки эффективности горного производства (дальность транспортирования, состояние дорог и др.). Использование предлагаемых автором показателей качества функционирования, позволит разработать обоснованные рекомендации для угольных карьеров Кузбасса, необходимые для повышения производительности экскаваторно-автомобильных комплексов и снижения себестоимости добычи угля.

Разработанная А.Ю. Вороновым методика принята Новационной фирмой «КУЗБАСС-НИИОГР» для оптимизации показателей работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов Кузбасса и для расчета потребности разрезов в экскаваторной и автотранспортной технике нового поколения.

Ведущий инженер-механик
 сектора эксплуатации карьерного оборудования,
 специалист НК лаборатории неразрушающего контроля

А.Н. Завьялов