К. Н. Трубецкой
А. А. Кулешов
А. Ф. Клебанов
Д. Я. Владимиров

# Современные системы управления горно-транспортными комплексами

К. Н. Трубецкой
А. А. Кулешов
А. Ф. Клебанов
Д. Я. Владимиров

# Современные системы управления горно-транспортными комплексами

*Под общей редакцией академика РАН К. Н. Трубецкого*

Санкт-Петербург
«НАУКА»
2007

УДК 622.271.68.002.611(24)
ББК 33.12
Т77

**Трубецкой К. Н., Кулешов А. А., Клебанов А. Ф., Владимиров Д. Я. Современные системы управления горно-транспортными комплексами** / Под редакцией акад. РАН К. Н. Трубецкого. СПб.: Наука, 2007. 306 с.: ил.

ISBN 978-5-02-025185-4

В монографии впервые рассмотрены проблемы диспетчеризации и автоматизации управления горно-транспортными комплексами на открытых и подземных горных работах с использованием автотранспорта, железнодорожного транспорта и самоходного подземного оборудования. Дан анализ современных отечественных и зарубежных систем. Изложены научно-технические принципы создания таких систем с использованием спутниковой навигации (GPS). Приведены структура систем, элементная база и организация работ по реализации систем на горных предприятиях. Особое внимание уделено системе управления «КАРЬЕР», представляющей разработку российской компании «ВИСТ Групп». В книге описан опыт реализации этой системы на угольных разрезах и рудных карьерах России, Украины, Казахстана и Монголии, дан расчет экономической эффективности. Рассмотрены также вопросы повышения безопасности горно-транспортных комплексов с учетом применения систем управления.

Книга предназначена для специалистов горнодобывающих предприятий, проектных, конструкторских и научно-исследовательских организаций, а также для вузов, ведущих подготовку специалистов по эксплуатации горно-транспортных комплексов.

Рецензенты:
д-р техн. наук, проф. *О. В. Белый*,
д-р техн. наук, проф. *П. А. Кравченко*

Напечатано с оригинал-макета, подготовленного авторами

ISBN 978-5-02-025185-4

© К. Н. Трубецкой, А. А. Кулешов, А. Ф. Клебанов, Д. Я. Владимиров, 2007
© Издательство «Наука», 2007

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие открытых и подземных горных работ в новых условиях рыночной экономики в начале XXI в. отмечается несколькими характерными особенностями, а именно:

- вовлечением в разработку более сложных по структуре и более бедных по содержанию полезных компонентов месторождений полезных ископаемых; освоением труднодоступных месторождений, расположенных в суровых климатических условиях, что требует дополнительных капиталовложений и увеличивает эксплуатационные расходы;
- наличием на рынке широкого спектра машин и оборудования для добычи полезных ископаемых, разработанных ведущими мировыми фирмами за последние 10 лет, имеющих достаточно высокие эксплуатационные характеристики и, соответственно, высокую стоимость для потребителя;
- обострившейся конкуренцией между предприятиями одинакового или близкого профиля на рынке при сбыте своей продукции, стремлением получить максимальную прибыль при наименьших затратах и необязательно с расчетом на перспективу, а обязательно сегодня;
- новыми, более жесткими, требованиями в сфере экологии промышленного производства, закрепленными в последнее время рядом законодательных актов.

Все это, несомненно, сказывается на изменении традиционных подходов как к выбору комплексов основного технологического оборудования, так и к методам и средствам управления производством.

В настоящее время наблюдается интенсивное внедрение на открытых и подземных работах принципиально новых средств управления технологическими процессами в горнодобывающей промышленности, основанных на использовании последних достижений в электронике, радиотехнике, микропроцессорной технике и спутниковой космической связи. Эти системы намного превосходят разработанные в 70-80-х гг. прошлого века системы АСУ ТП (автоматизированные системы управления технологическими процессами).

Системы АСУ ТП, внедренные в свое время на многих карьерах СССР, безусловно, сыграли свою большую роль и даже сейчас

продолжают эксплуатироваться на ряде карьеров. Кроме того, идеология, заложенная при построении АСУ ТП, до сих пор используется и при создании современных систем диспетчеризации и автоматизированного управления горным производством.

Цель современных автоматизированных систем управления технологическими процессами на карьерах и подземных рудниках – оптимальное управление грузопотоками, учет и контроль работы погрузочно-транспортных комплексов, мониторинг эксплуатационных режимов погрузочных и транспортных средств и, в конечном счете, снижение энергозатрат, эксплуатационных издержек, повышение надежности оборудования и промышленной и экологической безопасности производства.

Все современные системы управления на открытых горных работах основаны на использовании спутниковой навигации (GPS – системы глобального позиционирования). В ближайшие годы (до 2009 г.) будет запущена в эксплуатацию аналогичная, но более точная российская система спутниковой навигации – ГЛОНАСС.

В настоящее время на российском рынке в сфере автоматизации управления горно-транспортными комплексами работают как отечественные фирмы («ВИСТ Групп», «Союзтехноком», «Промтех» и др.), так и зарубежные («Modular» (США), «Wenco» (Канада), «Micromine» (Австралия) и др.).

Их разработки внедрены на ряде крупных карьеров железорудной, угольной, алмазодобывающей промышленности.

До настоящего времени опыт этих компаний не обобщен и не проанализирован. Поэтому выпуском настоящей монографии мы решили восполнить этот пробел. При этом постарались изложить материал монографии компактно, без подробных теоретических выкладок, так как она предназначена, в первую очередь, для специалистов-практиков.

В написании монографии участвовали специалисты научных, учебных, проектных и производственных организаций: ООО «ВИСТ Групп», ООО «ВИСТ Групп Сенсор», Института проблем комплексного освоения недр (ИПКОН РАН), Санкт-Петербургского государственного горного института (технического университета), ПО «Белорусский автомобильный завод», ООО «ОМЗ Горное оборудование и технологии (Группа Уралмаш-Ижора)».

Авторы выражают глубокую благодарность своим коллегам за активное участие в подготовке материалов: канд. техн. наук А. И. Перепелицыну (глава 9), канд. физ.-мат. наук Н. В. Одинцеву (главы 3 и 4), Г. А. Айдиняну (глава 7), С. Н. Кудину (глава 2), В. Н. Коняхину (глава 7), канд. техн. наук, проф. В. А. Казакову (глава 6), проф. А. Е. Козяруку (глава 4), А. В. Бондаренко (глава 6), А. А. Мартыненко (глава 6), А. Г. Рыльникову (глава 6), а также

продолжают эксплуатироваться на ряде карьеров. Кроме того, идеология, заложенная при построении АСУ ТП, до сих пор используется и при создании современных систем диспетчеризации и автоматизированного управления горным производством.

Цель современных автоматизированных систем управления технологическими процессами на карьерах и подземных рудниках – оптимальное управление грузопотоками, учет и контроль работы погрузочно-транспортных комплексов, мониторинг эксплуатационных режимов погрузочных и транспортных средств и, в конечном счете, снижение энергозатрат, эксплуатационных издержек, повышение надежности оборудования и промышленной и экологической безопасности производства.

Все современные системы управления на открытых горных работах основаны на использовании спутниковой навигации (GPS – системы глобального позиционирования). В ближайшие годы (до 2009 г.) будет запущена в эксплуатацию аналогичная, но более точная российская система спутниковой навигации – ГЛОНАСС.

В настоящее время на российском рынке в сфере автоматизации управления горно-транспортными комплексами работают как отечественные фирмы («ВИСТ Групп», «Союзтехноком», «Промтех» и др.), так и зарубежные («Modular» (США), «Wenco» (Канада), «Micromine» (Австралия) и др.).

Их разработки внедрены на ряде крупных карьеров железорудной, угольной, алмазодобывающей промышленности.

До настоящего времени опыт этих компаний не обобщен и не проанализирован. Поэтому выпуском настоящей монографии мы решили восполнить этот пробел. При этом постарались изложить материал монографии компактно, без подробных теоретических выкладок, так как она предназначена, в первую очередь, для специалистов-практиков.

В написании монографии участвовали специалисты научных, учебных, проектных и производственных организаций: ООО «ВИСТ Групп», ООО «ВИСТ Групп Сенсор», Института проблем комплексного освоения недр (ИПКОН РАН), Санкт-Петербургского государственного горного института (технического университета), ПО «Белорусский автомобильный завод», ООО «ОМЗ Горное оборудование и технологии (Группа Уралмаш-Ижора)».

Авторы выражают глубокую благодарность своим коллегам за активное участие в подготовке материалов: канд. техн. наук А. И. Перепелицыну (глава 9), канд. физ.-мат. наук Н. В. Одинцеву (главы 3 и 4), Г. А. Айдияну (глава 7), С. Н. Кудину (глава 2), В. Н. Коняхину (глава 7), канд. техн. наук, проф. В. А. Казакову (глава 6), проф. А. Е. Козяруку (глава 4), А. В. Бондаренко (глава 6), А. Г. Рыльникову (глава 6), а также А. А. Мартыненко (глава 6),

П. Ю. Ланкову, Л. Н. Ждановой и Е. С. Абрамовой за помощь в техническом и художественном оформлении книги.

Также неоценимую помощь в подготовке монографии оказали специалисты и руководители горных предприятий, занимающихся внедрением системы управления горно-транспортными комплексами «КАРЬЕР»: Л. В. Рыбак (ЗАО «Черниговец»), С. Е. Малышев (ОАО «УК "Южный Кузбасс"»), Н. И. Ляшенко (ОАО «Полтавский ГОК», Украина), Н. Бямбардорж (СП «ЭРДЭНЭТ», Монголия), В. Д. Щерба (АО «ССГПО», Казахстан).

Выход в свет этой книги стал возможен во многом благодаря инициативе безвременно ушедшего д-ра техн. наук, проф. А. А. Кулешова, зав. кафедрой горных транспортных машин Санкт-Петербургского государственного горного института (ТУ). Именно благодаря его творческой активности и энергии были собраны и обобщены материалы, которые и легли в основу этого издания.

Авторы надеются на то, что содержащиеся в монографии сведения будут полезны специалистам горного производства и разработчикам подобных систем.

Все замечания по содержанию книги и предложения по его улучшению в следующем издании будут приняты авторами с благодарностью.

# 1. СТРУКТУРА И СОСТОЯНИЕ ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ (ГТК)

## 1.1. Структура горно-транспортного комплекса на открытых работах

### 1.1.1. Погрузочные средства

Ведущей машиной ГТК является экскаватор или ковшовый погрузчик. Типоразмерный ряд выпускаемых и перспективных электрических карьерных экскаваторов-мехлопат и их характеристики приведены в табл. 1.1.

Базовой машиной типоразмерного ряда является экскаватор ЭКГ-10 (рис.1.1). На крупных карьерах используют также экскаваторы ЭКГ-15. Выпускаемые Ижорским заводом ранее экскаваторы ЭКГ-8И и ЭКГ-12.5 сняты с производства, но еще эксплуатируются на некоторых карьерах.



Рис. 1.1. Экскаватор ЭКГ-10.

Новое поколение экскаваторов-мехлопат, выпускаемых ОАО «Объединенные машиностроительные заводы» («ОМЗ»), включающие «Уралмаш» и Ижорский завод, открывает модель экскаватора ЭКГ-1500К с ковшом вместимостью 26 м$^3$ (рис. 1.2). Как известно, самый мощный экскаватор, выпускаемый отечественной промышленностью (ЭКГ-20), имеет вместимость стандартного ковша 20 м$^3$, в то время как за рубежом уже много лет эксплуатируются в комплексе с транспортными средствами экскаваторы с ковшом 30–40 м$^3$ и более. В ОАО «ОМЗ» разрабатывается в настоящее время рабочий проект 40-кубового экскаватора с электриче-



Рис. 1.2. Эскиз экскаватора ЭКГ-1500К.

ским приводом. Но, видимо, он появится на карьерах не ранее, чем через 6–7 лет. Безусловно, в значительной мере решит проблему освоение серийного выпуска экскаватора ЭКГ-1500К, который в настоящее время запущен в производство (опытные образцы) на «ОМЗ».

Этот экскаватор по своим техническим характеристикам соответствует лучшим мировым образцам. При его проектировании использованы новейшие расчетные методы с применением компьютерных технологий. Все силовые металлоконструкции и механизмы экскаватора рассчитаны методом конечных элементов на загрузку в ковш не менее 50 т горной массы. Значительно снижена масса экскаватора – до 875 т (у ЭКГ-20 масса 930 т).

Экскаватор создан на базе передовых технических, технологических и производственных решений на основе многолетней эксплуатации машин в самых сложных климатических и горно-геологических условиях.

*Таблица 1.1*

**Типо-размерный ряд и технические характеристики карьерных экскаваторов-мехлопат**

| Параметры | Модель экскаватора | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ЭКГ-10 | ЭКГ-15 | ЭКГ-20 | ЭКГ-1500К |
| Вместимость ковша, $м^3$: | | | | |
| стандартного | 10 | 15 | 20 | 26 |
| сменного | 8; 12.5; 16 | 12.5 | 18; 23 | 18–45.4 |
| Мощность сетевого двигателя, кВТ | 630 | 1250 | 2500 | 2500 |
| Рабочая масса, т | 390 | 675 | 930 | 875 |
| Энерговооруженность, кВт: | | | | |
| на 1 $м^3$ вместимости ковша | 63 | 83.3 | 125 | 130 |
| на 1 т массы | 1.61 | 2.07 | 2.69 | 2.86 |
| Радиус черпания, м | 16.2 | 19.9 | 19.4 | 20.5 |
| Высота черпания, м | 13.5 | 15.6 | 17.9 | 17.5 |
| Радиус разгрузки, м | 16.2 | 19.9 | 19.4 | 20.5 |
| Скорость передвижения, км/ч | 0.50 | 0.43 | 0.9 | 0.9 |
| Среднее давление на грунт, МПа | 0.28–0.22 | 0.21 | 0.3 | 0.3 |
| Расчетное время цикла при угле поворота стрелы 90°, с | 26 | 28 | 28 | 31 |
| Средняя продолжительность цикла при работе в скальных породах при угле поворота стрелы $\alpha = 90°$, с[xx] | 32 | 35 | 35.3 | 38 |

[xx] Рассчитана с учетом статистических данных, при увеличении угла поворота $\alpha$ на каждые 3° прибавляется 1 с.

Разработка нового проекта машины проводилась в тесном сотрудничестве с потенциальными заказчиками, высказавшими предложения, направленные на создание конкурентоспособной конструкции, обеспечивающей снижение объемов технического обслуживания и ремонта экскаватора.

Более высокий технический уровень машины по сравнению с выпускаемыми серийно экскаваторами достигается за счет:

- применения на экскаваторе привода переменного тока с частотным регулированием асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором;
- использования широкой международной кооперации с изготовлением узлов и деталей специализированными фирмами, имеющими большой опыт их изготовления;
- установки на экскаваторе информационно-диагностической системы, позволяющей обеспечить защиту механического и электрического оборудования, исключить недопустимые перегрузки, информировать машиниста о состоянии основных узлов, а также вывести на дисплей машиниста и удаленного диспетчера необходимую информацию о работе машины;
- установки на машине автоматической системы смазки «LINCOLN»;
- применения более качественных масел и смазок, существенно увеличивающих сроки службы механизмов и тем самым сокращающих объемы технического обслуживания;
- использования высокопрочных марок сталей, позволяющих снизить рабочие сечения узлов и тем самым снизить общую массу машины.

В результате принятых решений экскаватор нового поколения ЭКГ-1500К имеет перед зарубежными аналогами P&H 2800 фирмы «Харнишфегер» и 295B-3 фирмы «Бьюсайрус» ряд конструктивных, технологических и потребительских преимуществ.

В последние 10–15 лет в технологии открытой разработки полезных ископаемых все большее распространение получают дизельные экскаваторы с гидравлическим приводом (рис.1.3). Главное их преимущество перед экскаваторами с электрическим приводом – автономность, более широкие технологические возможности, обеспечение большего усилия резания (копания).



Рис. 1.3. Гидравлический экскаватор ЭГ-5.5.

В табл. 1.2 и 1.3 приведены типоразмерный ряд и технические характеристики отечественных гидравлических экскаваторов. К сожалению, этот типоразмерный ряд не реализован. Были выпущены опытные образцы экскаваторов с вместимостью ковша 5.5 м$^3$ (Ижорский завод, 2003 г.) и 12 м$^3$ («Уралмаш»). Поэтому крупные отечественные горные предприятия (ОАО «Апатит», Ковдорский ГОК, ОАО «Карельский окатыш» и др.) закупили гидравлические экскаваторы с ковшом 6 и 9 м$^3$ германских и японских фирм, которые являются мировыми лидерами в этой области.

*Таблица 1.2*

**Типоразмерный ряд и технические характеристики гидравлических экскаваторов**

| Показатели | ЭГ-8* | ЭГ-10 | ЭГ-12 | ЭГ-15 | ЭГ-20 | ЭГ-40 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Вместимость ковша, м$^3$ | 8; 10 | 10; 12 | 10; 12; 14 | 15; 16 | 15; 20; 25 | 30; 40; 50 |
| Глубина черпания ниже уровня установки, м | 1.5 | 1.5 | 2.5 | 2.5 | 3.5 | 4–5 |
| Высота черпания, м | 13 | 14 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| Радиус черпания, м | 13 | 14 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| Высота разгрузки, м | 10 | 11 | 10.5 | 13 | 15 | 16–17 |
| Радиус разгрузки, м | 11 | 12 | 14 | 15 | 18 | 20 |
| Суммарная мощность приводов, кВт | 500 | 600 | 640 | 910 | 1660 | 2400 |
| Рабочая масса, т | 200 | 250 | 330 | 400 | 570 | 900 |
| Удельная металлоемкость, т/м$^3$ | 25 | 25; 20.8 | 33; 27.5; 23.6 | 26.7; 25 | 38; 28.5; 22.8 | 30; 22.5; 18 |
| Энерговооруженность, кВт: | | | | | | |
| на 1 м вместимости ковша | 62.5; 50 | 60; 50 | 52.5 | 60.7; 56.9 | 63 | 67.5 |
| на 1 т массы | 2.5 | 2.4 | 1.91 | 2.27 | 2.21 | 2.77–3.0 |
| Скорость передвижения, км/ч | 0.17 | 0.18 | 0.22 | 0.23 | 0.23 | 0.30 |
| Давление на грунт, МПа | 0.17 | 0.18 | 0.22 | 0.23 | 0.23 | 0.30 |
| Продолжительность цикла при угле поворота стрелы на 90°, с | 26 | 26 | 28 | 28 | 30 | 33 |
| Техническая производительность при разработке скальных пород, м$^3$/ч | 800 | 950 | 1150 | 1400 | 1850 | 3200 |

* Стандартная вместимость ковша (8 м$^3$) рассчитана на плотность породы 1.8 т/м$^3$; уменьшенная – на 2.4 т/м$^3$ и увеличенная – на 1.2 т/м$^3$.

*Таблица 1.3*

**Техническая характеристика гидравлических экскаваторов с оборудованием «обратная лопата»**

| Показатели | ЭГО-6 | ЭГО-8 | ЭГО-12 |
|---|---|---|---|
| Вместимость ковша, $м^3$: | | | |
| стандартная | 6 | 8 | 12 |
| для тяжелых пород | 5 | 6 | 10 |
| Максимальный радиус черпания, м | 19 | 21.8 | 25 |
| Высота копания, м | 15 | 16.7 | 18 |
| Глубина копания, м | 10 | 12 | 14 |
| Глубина копания при угле отработки откоса 45°, м | 7.5 | 9 | 13.5 |
| Высота разгрузки, м | 10 | 12.5 | 14 |
| Преодолеваемый уклон, град. | 12 | 12 | 12 |
| Скорость передвижения, км/ч | 1.6 | 1.2 | 1.0 |
| Среднее давление на грунт при передвижении, МПа | 0.16 | 0.167 | 0.22 |
| Суммарная мощность приводов, кВт | 660 | 910 | 1660 |
| Масса экскаватора, т | 240 | 350 | 600 |
| Удельная металлоемкость, $т/м^3$ | 40 | 43.7 | 50 |
| Энерговооруженность, кВт: | | | |
| на 1 $м^3$ вместимости ковша | 110 | 113.7 | 138 |
| на 1 т массы | 2.75 | 2.60 | 2.77 |
| Продолжительность цикла, с | 24 | 26 | 28 |
| Расчетная производительность, млн $м^3$/год | 2.0 | 2.5 | 3.5 |

В табл. 1.4 приведена в качестве примера техническая характеристика популярной модели гидравлического экскаватора PC3000 компании «Komatsu» (рис.1.4).

В 2005–2006 гг. ЗАО «Руссо-Балт-БелАЗ» (г. Санкт-Петербург) разработан и изготовлен опытный экземпляр гидравлического экскаватора ДГЭ-1200 с ковшом вместимостью 6 $м^3$ (рис.1.5).

В данной модели учтены недостатки, выявленные во время эксплуатационных испытаний предыдущей модели экскаватора Ижорского завода в карьере ОАО «Фосфорит».

В ОАО «ОМЗ Горное» (Ижорский завод) в 2006 г. изготовлен также опытный экземпляр гидравлического экскаватора с ковшом вместимостью 6 $м^3$, который отправлен для производственных испытаний на один из асбестовых карьеров (рис.1.6).

*Таблица 1.4*

**Техническая характеристика экскаватора PC3000**

| Параметры | Значение |
|---|---|
| Эксплуатационная масса (с рабочим оборудованием «прямая лопата», ширина трака – 800 мм), т | 253 |
| Основной двигатель | Дизельный |
| Модель | Cummins K15 |
| Выходная мощность, кВт | 940 |
| Скорость вращения, мин$^{-1}$ | 1800 |
| Гидравлическая система | |
| Главные насосы | 3 аксиально-поршневых насоса |
| Расход, л/мин | 900 |
| Суммарный расход, л/мин | 2700 |
| Поворот – открытая схема | 1 главный насос |
| Суммарный расход, л/мин | 800 |
| Гидравлическое давление, бар | 310 |
| Максимальная скорость передвижения, км/ч | 2.4 |
| Давление на грунт, МПа | 0.237 |
| Основные технические данные экскаватора: | |
| Масса, т | 130 |
| Вместимость стандартного ковша, м$^3$ | 6 |
| Мощность привода, кВт | 503 |
| Скорость передвижения, км/ч | 0–3.0 |
| Преодолеваемый уклон, ‰ (град.) | 80 (38) |
| Тяговое усилие гусениц, кН | 628 |
| Среднее давление на грунт, кН/см$^2$ | 0.016 |
| Усилие копания, кН | 700 |
| Продолжительность цикла погрузки, с | 20–25 |
| Продолжительность загрузки самосвала грузоподъемностью 55 т, мин | 2.5 |

Учитывая общую ситуацию в отечественном экскаваторостроении, можно предполагать, что в ближайшие 5–6 лет наши крупные горнодобывающие предприятия будут, кроме отечественной, закупать и импортную технику, не имеющую аналогов в России.



**Рис. 1.4. Komatsu PC3000.**



**Рис. 1.5. Дизель-гидравлический экскаватор ДГЭ-1200.**

Принципиальные различия в конструктивном устройстве электрических и гидравлических экскаваторов требуют различных подходов к созданию технических средств для реализации систем диспетчеризации и автоматизации, хотя идеологическая основа целей и задач этой системы при этом не меняется. Ясно одно, что осуществить автоматизацию гидравлических экскаваторов намного сложнее, чем электрических.

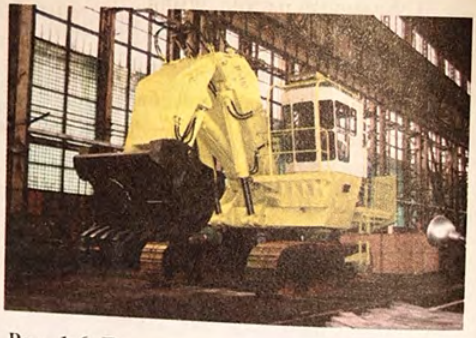


**Рис. 1.6. Гидравлический экскаватор ЭГ-110.**



**Рис. 1.7. Ковшовый погрузчик фирмы ПО «БелАЗ».**

Ковшовые погрузчики применяются на карьерах в основном как вспомогательные средства – для зачистки забоев, на вскрышных работах, строительстве дорог, а также при отработке уступов малой высоты (6–10 м). Основным производителем ковшовых погрузчиков в СНГ является ПО «БелАЗ» (рис.1.7).

### 1.1.2. Горно-транспортный комплекс с автомобильным транспортом

На современном этапе развития открытых горных работ технологический автотранспорт является основным на карьерах России, стран СНГ и ведущих горнодобывающих стран мира, Автомобильным транспортом перевозится примерно 75 % всей горной массы, а в США, Канаде, Австралии – около 100 %.

Горно-транспортный комплекс с автотранспортом в ряде источников [10] называют погрузочно-транспортной системой карьера, структура которой приведена на рис. 1.8.

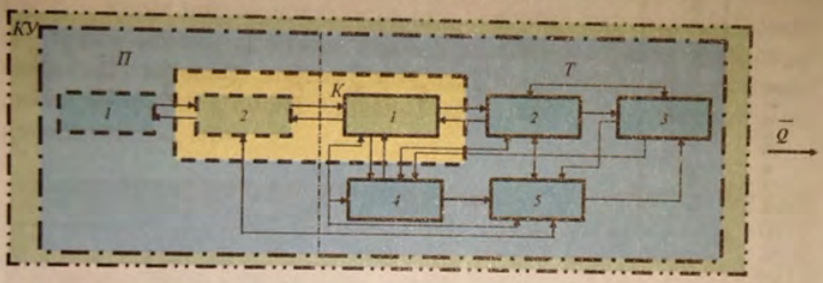



**Рис. 1.8. Структура системы карьерного автотранспорта (*Т*).**

*П* – погрузочная система: 1 – забой; 2 – экскаватор; *К* – экскаваторно-автомобильный комплекс: 1 – автосамосвал с оператором; 2 – транспортные коммуникации; 3 – приемные пункты; 4 – подсистема технической эксплуатации машин; 5 – подсистема управления; КУ – климатические условия (температура воздуха).

Ведущей машиной комплекса является экскаватор. На карьерах России эксплуатируются автосамосвалы БелАЗ грузоподъемностью от 30 до 320 т. Типоразмерный ряд и технические характеристики этих самосвалов приведены в табл.1.5, а на рис. 1.9 – комплекс в составе экскаватора ЭКГ-20 и автосамосвала БелАЗ-75306 грузоподъемностью 220 т.

Все экскаваторно-автомобильные комплексы по мощности можно разделить на четыре группы (табл.1.6).

Для эффективной работы ГТК необходимо при его формировании правильно определить оптимальное соотношение сопряженных рабочих параметров входящих в него машин, т. е. вместимости ковша экскаватора и грузоподъемности автосамосвала [28].

Для этой цели наиболее простой является методика, изложенная в [10]. Суть ее заключается в определении весового ($\mu_в$) и объемного ($\mu_о$) модулей комплекса для конкретных условий эксплуатации.

Весовой модуль определяется из выражения

$$\mu_в = 1 + \sqrt{1 + 4t_з(t_ц + t_{дв} + t_р + t_з)} / t_ц ,$$

*Таблица 1.5*

**Технические характеристики самосвалов БелАЗ**

| Наименование серии | Грузоподъемность, т | Масса снаряженного, т | Радиус поворота, м | Вместимость платформы «с шапкой», м$^3$ | Мощность дизеля, кВт |
|---|---|---|---|---|---|
| БелАЗ-7540 | 30 | 22.5 | 8.7 | 19.2 | 290–309 |
| БелАЗ-7547 | 45 | 33.0 | 10.2 | 26.0 | 368–448 |
| БелАЗ-7555 | 55–60 | 40.5 | 9.0 | 34.2 | 515–537 |
| БелАЗ-75491 | 80 | 67.0 | 11.0 | 59.7 | 618 |
| БелАЗ-75570 | 90 | 73.0 | 11.0 | 48.0 | 783 |
| БелАЗ-7512(-7514) | 120 | 90.0 | 13.0 | 47.0 | 895–956 |
| БелАЗ-75132 | 130 | 105.0 | 13.0 | 77.0 | 1103 |
| БелАЗ-75171 | 160 | 140.0 | 14.0 | 84.5 | 1492 |
| БелАЗ-7530 | 200 | 150.0 | 15.0 | 114.0 | 1716–1765 |
| БелАЗ-75600 | 320 | 238.0 | 16.6 | 200.0 | 2610 |

*Таб*

| № п/ |
|---|
| 1 |
| 2 |
| 3 |
| 4 |

где
$t_3$ –
сме
сва
авто

Рис
Бел

*Таблица 1.6*

**Экскаваторно-автомобильные комплексы**

| № п/п | Класс мощности | Вместимость ковша экскаватора, м$^3$ | Грузоподъемность автосамосвала, т |
|---|---|---|---|
| 1 | Малой мощности | < 3.0 | 15÷25 |
| 2 | Средней мощности | 5÷10 | 30÷100 |
| 3 | Мощные | 15÷25 | 150÷250 |
| 4 | Сверхмощные | 30÷40 | 300÷500 |

где $t_ц$ – время цикла экскаватора при повороте стрелы на 90°, мин; $t_з$ – время замены автосамосвалов у экскаватора (интервал между смежными автосамосвалами), мин; $t_{дв}$ – время движения автосамосвала по трассе в обоих направлениях, мин; $t_р$ – время разгрузки автосамосвала, мин.




**Рис. 1.9. Комплекс в составе экскаватора ЭКГ-20 и автосамосвала БелАЗ-75306 грузоподъемностью 220 т.**

Объемный модуль комплекса

$$\mu_o = \mu_в K_н,$$

где $K_н$ – коэффициент наполнения ковша, $K_н = 0.8...1.1$.

Грузоподъемность автосамосвала (т) определяется из выражения

$$q_а = E K_э \gamma \mu_в,$$

где $E$ – вместимость ковша, м$^3$; $K_э$ – коэффициент экскавации, $K_э = K_н/K_р$ ($K_р$ – коэффициент разрыхления горной массы в ковше, равный обычно 1.3÷1.5); $\gamma$ – плотность породы в целике, т/м$^3$.

Допустим, что $\mu_в = 8.5$, $\mu_o = 8$ при $K_н = 0.8$ $q_e = 10 \cdot 0.6 \cdot 3 = 18$ т.

Тогда расчетная грузоподъемность автосамосвала составит

$$q_а = 18 \cdot 8.5 = 153 \text{ т}.$$

Принимаем ближайшую в типоразмерном ряду модель автосамосвала грузоподъемностью 150 т.

Вместимость кузова автосамосвала составит:

$$V_К = q_а/\gamma_н K_{н.к} = 153/2 \cdot 1.3 = 58.8 \text{ м}^3,$$

где $\gamma_н$ – насыпная плотность перевозимой горной массы, т/м$^3$; $K_{н.к}$ – коэффициент наполнения кузова самосвала (погрузка с «шапкой»).

Таким образом, структура ГТК на карьерах отличается достаточно большим разнообразием и динамичностью развития. Все это должно учитываться при разработке систем управления ими так же, как и особенности эксплуатации ГТК на карьерах: большая глубина разработки, мощные грузопотоки и большая их дискретность, влияние климатических условий, загрязнение окружающей среды отработавшими газами дизелей машин.

### 1.1.3. Горно-транспортный комплекс с железнодорожным транспортом

Имеет широкое применение на рудных карьерах и угольных разрезах. В последнее десятилетие зона его применения расширилась за счет использования в комбинированных транспортных схемах в глубоких карьерах, ввода железнодорожного транспорта вместо автомобильного на нижние горизонты, в том числе и по тоннельной схеме (карьеры ОАО «Карельский окатыш», Гайского, Соколово-Сарбайского ГОКов). Большим преимуществом железнодорожного транспорта перед автомобильным является лучшая его экологичность, особенно при использовании электротяги. Однако для повышения его конкурентоспособности с другими ГТК (например, с автомобильным) его нужно существенно модернизировать.

Основным направлением развития и совершенствования карьерного железнодорожного транспорта является увеличение уклонов путей до 60–80 ‰, что позволяет увеличить глубину ввода железнодорожного транспорта в карьеры до 350–450 м, скорость понижения горных работ в 1.4 раза, снизить суммарные затраты на транспортирование горной массы с глубины 300–450 м на 20–25 %. В качестве перспективного решения является использование тоннельного вскрытия, которое осуществлено, например, в Сарбайском карьере ССГОКа (рис. 1.10).

Если интенсивное развитие средств автомобильного карьерного транспорта, в особенности в последние 10–15 лет, во многом связано с острой конкуренцией на мировом рынке большегрузных автосамосвалов, то в силу ограниченного применения на зарубежных карьерах железнодорожного транспорта такой конкуренции нет. В настоящее время на глубоких карьерах широкое распространение нашли электровозы и тяговые агрегаты с напряжением 1.65 и 3.3 кВ постоянного тока и 10 кВ переменного тока. Существующие типы тяговых средств по своему техническому уровню и перспективным технологическим требованиям не обеспечивают эффективную их эксплуатацию в глубинной зоне карьера.

Достаточно сказать, что проектные решения по ним формировались в середине прошлого века. Срок эксплуатации многих локомотивов значительно превышает нормативный. Положение не

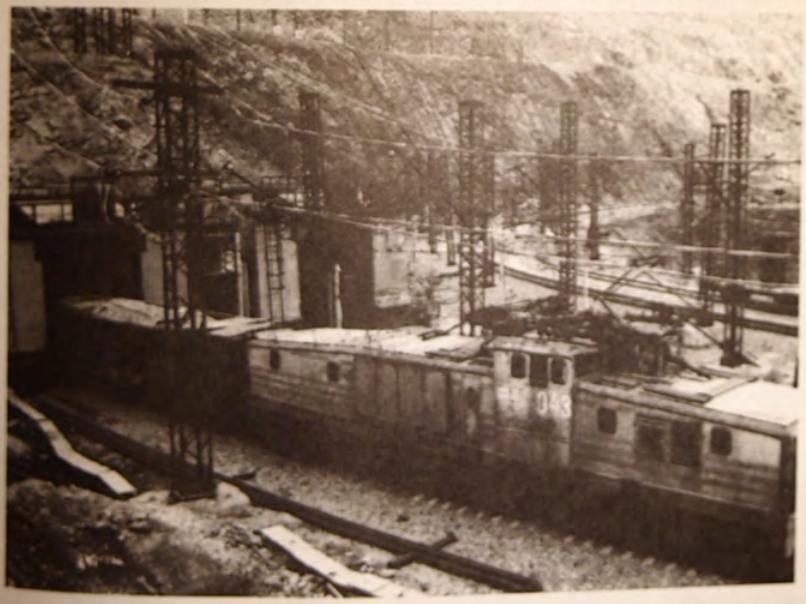


**Рис. 1.10. Сарбайский карьер. Железнодорожные тоннели в борту карьера.**



2 Зак. № 4488

спасает начавшийся серийный выпуск модернизированного тягового агрегата НП-1 (Качканарский и Лебединский ГОКи закупили к настоящему времени всего по нескольку таких агрегатов). Дело в том, что новшества, примененные в конструкции НП-1, лишь несколько облегчают эксплуатацию агрегата и увеличивают реализуемую силу тяги всего на 8 %. Принципиально новые локомотивы для открытых горных разработок могут быть созданы на основе применения асинхронных и индукторных тяговых двигателей. Это позволит увеличить их мощность на 25–30 %, на 30 % – полезную массу и на 19 % – производительность, снизить энергетические затраты на подъем горной массы на 6 % при уклонах 60 ‰ и на 13 % при уклонах 150 ‰, уменьшить объемы горно-капитальных работ, а также улучшить экологическую обстановку в глубинной зоне карьера.

Одним из определяющих ограничений расширенного применения железнодорожного транспорта с повышенными уклонами железнодорожных путей является значительная величина нормативного тормозного пути на руководящем уклоне путей, которая была обоснована также в середине прошлого века. Между тем, есть разработки, позволяющие за счет применения принципиально новых локомотивных и вагонных тормозных колодок, легированных фосфором, сократить тормозной путь в 1.5–2 раза. При этом срок службы колодок в 2–2.5 раза выше, чем у применяемых в настоящее время, а износ бандажей колесных пар сокращается в 1.3–1.5 раза.

В целом же в ближайшие годы необходимо:

- разработать тепловозы нового поколения с автоматизированной системой управления;
- модернизировать тяговые агрегаты для вывозки горной массы из глубоких карьеров с уклонами до 80 ‰ и осевой нагрузкой до 260 кН;
- разработать новое поколение вагонов-самосвалов (думпкаров) с осевой нагрузкой до 300–350 кН для работы в карьерах и перевозки массовых инертных грузов, а также для замены вагонов-самосвалов, выработавших свой ресурс;
- разработать новое поколение специализированных вагонов, обеспечивающих автоматизированную погрузку и выгрузку опасных и других грузов;
- модернизировать путевое хозяйство: увеличить протяженность путей с рельсами Р-65, прежде всего на подъездных путях;
- увеличить протяженность пути на железобетонном подрельсовом основании;
- разработать конструкцию пути для карьеров, имеющих уклоны до 80 ‰;
- разработать путевые машины для ремонта промышленных железнодорожных путей;

• разработать и осуществить новые транспортно-технологические схемы выдачи горной массы из глубоких карьеров с использованием стволов и тоннелей;

• повысить уровень электрификации промышленных подъездных, карьерных и технологических путей.

Погрузка горной массы в думпкары и другие полувагоны (гондолы и пр.) осуществляется экскаваторами-мехлопатами с электрическим или гидравлическим приводом с вместимостью ковшей от 3 до 40 м$^3$.

При выборе оптимального типоразмера экскаватора для погрузки горной массы, например, в думпкары грузоподъемностью 105, 135, 180 т исходят из двух, наиболее важных положений:

1) обеспечение приемлемых динамических нагрузок на узлы и конструкции думпкаров (гондол) с целью снижения вероятности их разрушения и преждевременного износа;

2) максимально возможное использование номинальной грузоподъемности транспортных средств.

С точки зрения диспетчеризации, погрузочно-транспортные комплексы с электрифицированным железнодорожным транспортом намного удобнее, их легче оборудовать соответствующей аппаратурой для съема и передачи информации, чем экскаваторно-автомобильные комплексы.

## 1.2. Структура горно-транспортных комплексов на подземных работах с использованием самоходного оборудования

### 1.2.1. Комплексы с применением самоходного оборудования

Наиболее современным оборудованием на подземных работах является самоходное горное оборудование (СГО) на пневмоколесном ходу. Появившись сравнительно недавно, всего несколько десятилетий назад, оно в значительной степени изменило технологию работ, сделав ее более производительной, безопасной, экономически эффективной.

Это важнейший вид оборудования, область применения которого лежит в различных отраслях горно-добывающей промышленности.

За рубежом на подземных работах самоходное горное оборудование на пневмоколесном ходу (погрузочно-доставочные машины (ПДМ), подземные самосвалы, буровые установки) используются с 50-х гг. XX столетия. К нам эти машины пришли с опозданием примерно на пятнадцать лет. Это связано со многими объективны-

ми причинами, в частности с применением устоявшихся традиционных способов проектирования и отработки месторождений, а также плановых и централизованных методов работы горных предприятий в том числе.

Сначала эти машины поступили на Ачисайский полиметаллический комбинат и Джезказганский ГОК. На территории Российской Федерации они впервые начали применяться на подземных рудниках Норильского ГМК (ныне РАО «ГМК "Норильский никель"»). Вначале это были погрузочно-транспортные машины с ковшом и кузовом, оснащенные пневмоприводом («Т4Ж», «KAVO 510», «МПДН» и др.). Со временем дизельный привод практически полностью вытеснил пневматический. Сегодня на рудниках Норильска сосредоточен самый крупный в России парк подземной самоходной техники, включающий современные мощные ПДМ различных моделей, автосамосвалы, буровые установки, специализированные вспомогательные машины (рис. 1.11). Эволюцию внедрения СГО на подземных работах наиболее полно можно проследить на примере работы Орловского рудника Жезкентского ГОКа [5].

Здесь одними из первых начали осваивать самоходные ПДМ. Так, вначале для погрузки и доставки отбитой руды применяли ПДМ с пневматическим приводом шведского производства KAVO-310, KAVO-511 и отечественные ПТ-4 с ковшами вместимостью от 1.5 до 5 м$^3$.



Рис. 1.11. ПДМ «Вагнер».

Диапазон действия самоходных машин с пневматическим приводом определяется длиной гибкого шланга для подачи сжатого воздуха к двигателям и не превышает 45–60 м. Кроме того, частые наезды на гибкий шланг быстро выводят его из строя. Таким образом, применение самоходного оборудования с пневматическим приводом не обеспечивало должного роста производительности труда из-за низкого (0.25–0.35) коэффициента его использования.

В дальнейшем на Орловском руднике стали осваивать самоходное оборудование с дизельным приводом финской фирмы «TAMROK» («TORO-200D» и «TORO-250D»). Оптимальная длина доставки для ПДМ с ковшом вместимостью до 2–2.5 м$^3$ составляет 60–80 м, а максимальная – 100–120 м. Значительное увеличение объемов добычи руды привело к увеличению расстояния между рудоспусками, а следовательно, и расстояния доставки отбитой руды.

Дальнейшее использование в этих условиях машин «TORO-200D» и «TORO-250D» стало неэффективным, поэтому отбитую руду начали доставлять более мощными и производительными ПДМ: «TORO-301DL» и «K1300 LHD» («CATERPILLAR», США) с ковшами вместимостью до 3…4 м$^3$.

На Кировском руднике ОАО «Апатит» ПДМ модели PFL-18 фирмы PAUS (Германия) начали применять с 2001 г. [17]. ПДМ PFL-18 пришли на замену отечественным машинам с пневмоприводом. Как правило, они применяются на буро-подсечном горизонте для уборки руды из проходческих забоев контрольно-вентиляционных ортов. Объем ковша 1.8 м$^3$ удовлетворяет как по грузоподъемности (3.5 т), так и по геометрическим размерам. В настоящее время на Кировском руднике эксплуатируется 8 единиц PFL-18.

Однако в эксплуатации эти ПДМ так же, как и PFL-50, показали низкую надежность. Поэтому основным типом ПДМ на апатитовых рудниках являются «TORO-400D» и «TORO-400E» (рис. 1.12). Первый тип (с дизельным двигателем) применяется главным образом на проходке горных выработок, а второй (с электроприводом) на очистных работах. Общий парк этих машин на январь 2006 г. составил около 30 единиц.

Особенностью применения самоходной техники в условиях шахт ОАО «СУБР» («Североуральские бокситовые рудники») является сравнительно небольшое сечение горно-подготовительных выработок, что обусловливает необходимость применения шахтных погрузчиков типа PFL-30 фирмы PAUS.

Эксплуатация таких ПДМ в ОАО «СУБР» ведется с 2000 г. [18].

На Учалинском руднике в настоящее время эксплуатируются более 130 единиц высокопроизводительного горного оборудования различных зарубежных фирм: ПДМ «TORO» (типоразмеров 350, 400, 501, 1400), подземные автосамосвалы «TORO-35» и «TORO-40».



**Рис. 1.12. ПДМ Toro400D на площадке Кировского рудника ОАО «Апатит».**

На подземных рудниках часто одновременно используется и самоходный пневмоколесный транспорт, и локомотивная откатка, и скреперные лебедки, хотя в угольных шахтах, как правило, используется транспорт на рельсовом ходу. При малых сечениях выработки возможна замена рельсового транспорта небольшими ПДМ. Применение самоходного пневмоколесного транспорта зависит от многих факторов. Его основное преимущество заключается в мобильности. Это оборудование позволяет в сжатые сроки начать эксплуатацию шахты и добычу угля и руды.

На доставке горной массы в процессе очистных работ (рис. 1.13), где расстояние доставки меняется по мере подвигания забоя и машины эксплуатируются в сложных дорожных условиях (почва выработок неровная, наличие уклонов и т. д.), альтернативы применения ПДМ пока нет. На транспортных же горизонтах (откаточных выработках) рельсовый транспорт становится более рентабельным.

Конечно, как и у любого оборудования, у самоходного пневмоколесного транспорта имеется и ряд существенных недостатков, которые не только осложняют его эксплуатацию, но и делают источником повышенной опасности на подземных работах.

Самая острая проблема – необходимость очистки выхлопных газов у машин с дизельными двигателями. Она решается путем применения нейтрализаторов, но, несмотря на это, в выработки необходимо подавать дополнительное количество свежего воздуха (6.0÷6.5 м$^3$ на 1 кВт мощности двигателя) для разжижения вредных компонентов в рудничном воздухе до допустимой концентрации.

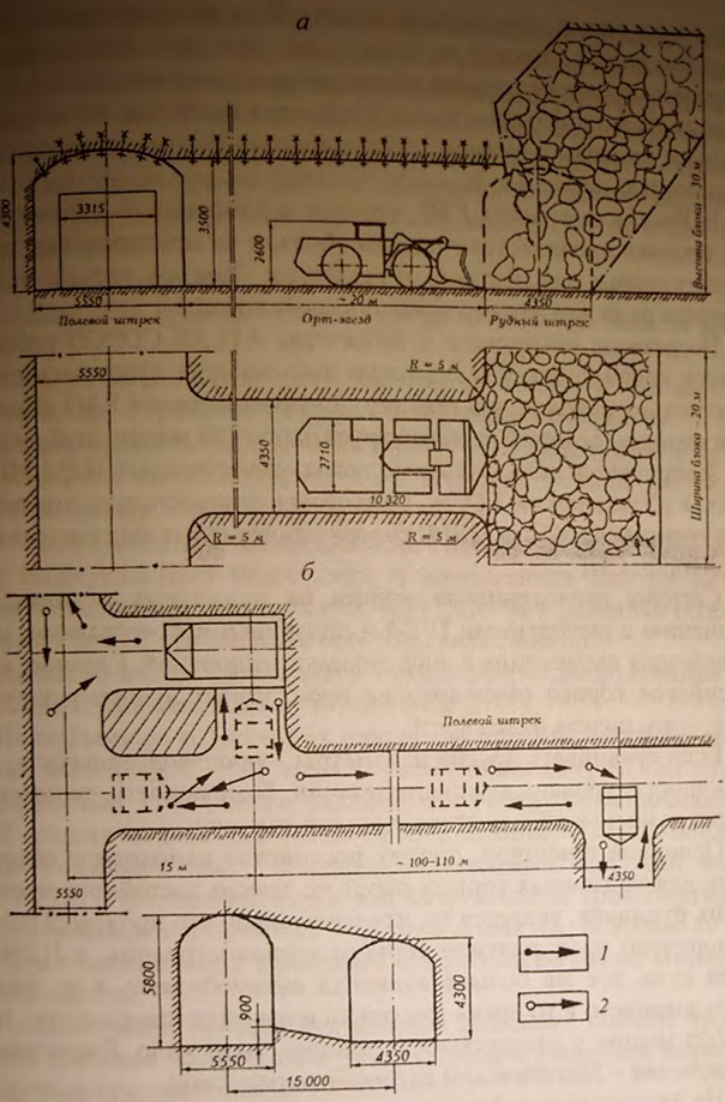



**Рис. 1.13. Схема работы на добычном горизонте.**
*а* – расположение машины в забое, *б* – схема маневров ПДМ; *1* – движение с грузом, *2* – то же порожняком.

Еще один недостаток – необходимость доставки под землю в больших количествах дизельного топлива и ГСМ.

Выбор оборудования, в первую очередь, определяется принятой системой разработки. Так, например, на «негазовых» Жезказганских рудниках погрузка горной массы непосредственно в забоях осуществляется экскаваторами в крупнотоннажные самосвалы, тя-

гачи с прицепами, самоходные вагоны. В то же время при отработке маломощных залежей на норильских рудниках требуется «низкопрофильное» самоходное оборудование высотой менее 1.7 м, а условия их эксплуатации характеризуются наличием значительных уклонов, газовым режимом, стесненностью горных выработок, абразивностью пород и т. д.

В России и странах СНГ интерес к самоходной пневмоколесной технике проявляется главным образом на предприятиях, добывающих сырье для цветной металлургии. Там же, где добывается железная руда или уголь, он значительно ниже.

Подземные погрузчики и самосвалы ATLAS COPCO работают на всех крупных российских горно-добывающих предприятиях, использующих самоходную технику. Лидером является РАО «Норильский никель», который эксплуатирует около 150 машин этой фирмы.

Завершились испытательные тесты отечественных ПДМ МПД-4 в ОАО «Учалинский ГОК». Испытания показали, что это первая конкурентноспособная ПДМ, спроектированная и изготовленная на территории СНГ.

Сегодня отечественных машин на подземных рудниках, по сравнению с импортными ПДМ и подземными самосвалами, мало. Происходит вытеснение нашей техники импортной. Главное, в чем российское горное оборудование проигрывает лучшему зарубежному, – это низкая надежность.

Если сравнивать другие параметры – производительность, экономичность, уровень компьютеризации, безопасность, то здесь ситуация тоже не в пользу отечественной техники.

Основной причиной, почему российское самоходное оборудование для подземных горных работ не заняло достойного места на наших рудниках, является то, что изначально его производство было поручено предприятиям горного машиностроения, а ПДМ, по своей сути, все же больше являются автомобилями, а не горным оборудованием, в то время как опыта и навыков производства такого рода машин у отечественных заводов было мало. Единственное исключение – Могилевский автомобильный завод.

На Западе многие фирмы пошли другим путем. Они приобретают на специализированных заводах целые узлы (двигатели, коробки передач, трансмиссии и т. д.) и из них, подобно детскому конструктору, собирают машины, отвечающие необходимым параметрам.

Сегодня все новые модели ПДМ полностью компьютеризированы. Это не дань моде, а насущная необходимость. Проект «Рудник 2000» (Швеция) реализуется на базе крупнейшего в мире рудника «Кируна». Он включает дистанционное бурение взрывных скважин, автоматизированное их заряжание, отбойку и уборку руды с помощью ПДМ с дистанционно-автоматическим управлением поездами.

Перспективы развития самоходного подземного транспорта на пневмоколесном ходу – это максимально возможная автоматизация операций, сведение к минимуму «человеческого фактора». В более далекой перспективе во все больших масштабах должно использоваться дистанционное управление, особенно при работе в опасных зонах. Уже сейчас при разработке железорудных месторождений в шведской Кируне подобные технологии используются в той или иной степени.

Еще одно важное направление совершенствования ПДМ – специализация. Как пример, создание оборудования для низких выработок.

Итак, в чем же заключается особенность ПДМ и что дает им преимущество в сравнении с другими видами оборудования:

- возможность работы этих машин непосредственно в забое, что исключает из технологического процесса добычи ненужные звенья (например, перегрузку горной массы);
- мобильность и маневренность ПДМ полностью компенсируют вышеуказанные недостатки, а возможность быстро занять новую позицию или покинуть опасный участок в условиях подземных работ делает эти машины просто незаменимыми.

Одним из видов самоходного транспортного оборудования являются шахтные самоходные вагоны (рис. 1.14).

На подземных разработках нашли применение шахтные самоходные вагоны 5ВС 15М грузоподъемностью 15 т, ВС-30 грузоподъемностью 30 т. Совсем недавно ряд белорусских производителей средств подземного транспорта пополнило РУПП «БелАЗ». В его модельном ряду появился самоходный шахтный вагон БелАЗ-79721. Он предназначен для безрельсовой транспортировки горной массы в подземных рудниках и шахтах, опасных по метану и угольной пыли, с размерами выработки до 3 м по ширине и 2.4 м по высоте.

Использование самоходных вагонов позволяет снизить трудоемкость доставки материалов в забой в 2 раза и увеличить выработку горняков при проходке до 70 %.

ЗАО «Титран-Экспресс» начало выпуск нового самоходного шахтного вагона ШВ-15 грузоподъемностью 15 т. Новинка составит конкуренцию шахтным вагонам БелАЗ-79721 и 5ВС 15М, который выпускает с 1979 г. воронежское ЗАО «УТМК-Рудгормаш».



**Рис. 1.14. Шахтный самоходный вагон.**

### 1.2.2. Комплексы на базе рельсового транспорта

На откаточных горизонтах рудников (магистральный транспорт) горно-транспортный комплекс представлен локомотивной откаткой. Погрузочные средства (виброустановки, люки с пневмо- или гидрозатворами, устанавливаемые внизу рудоспусков) имеют обычно стационарные или полустационарные положения на откаточной выработке (обычно это орт). По мере отработки очистных блоков они могут через определенное время (несколько месяцев) переноситься на новое место.

Основные тенденции развития погрузочно-транспортных подземных рельсовых комплексов характеризуются следующими особенностями:

- увеличение мощности локомотивов и, соответственно, грузоподъемности вагонов: так, в США и Канаде сцепная масса шахтных электровозов достигает 40 т, а грузоподъемность вагонов – до 20 т и более (компания «NORDIC», Канада);
- переход от контактных на высокочастотные локомотивы, которые обеспечивают большую безопасность и более высокий КПД системы;
- отказ от круговых опрокидывателей как создающих повышенную опасность для персонала в пользу вагонов с донной или боковой разгрузкой;
- переход от тягового электропривода на постоянном токе на привод на переменном токе;
- при отсутствии выпуска отечественных мощных электровозов использование в эксплуатации спаренных электровозов наиболее популярной модели К14;
- внедрение на локомотивной откатке современных средств автоматизации.

Удачный опыт применения спаренных электровозов накоплен на Кировском руднике ОАО «Апатит» [16]. В составе два электровоза К14, причем один из них ведущий с кабиной управления для машиниста. Схема соединения тяговых электродвигателей – последовательная, что не требует увеличения сечения контактного провода, установки дополнительных силовых контакторов МК-6.

Вместо электрооборудования украинских предприятий установлены более надежные двигатели ДК-812 и контроллеры КС-305, изготавливаемые московским заводом «Динамо».

Изготовление спаренных электровозов осуществило ЗАО «Метромаш» (г. Санкт-Петербург). В настоящее время на Кировском руднике эксплуатируются девять спаренных электровозов, которыми перевозится 3.5 млн т руды в год. Годовой эффект составляет 2.6 млн руб. на один спаренный электровоз.

На этом же руднике с 2004 г. ведутся промышленные испытания электровоза К14М с использованием асинхронных двигателей. Вместо обычных двигателей постоянного тока на электровозе установлен комплект тягового оборудования ПТАД-202МЭ на базе инвекторов напряжения, обеспечивающих векторное управление асинхронными двигателями. Испытания тягового привода переменного тока на спаренных электровозах показали хорошие результаты: экономия энергии достигает 50–65 %, расходы на приобретение тяговых двигателей уменьшаются в 3.5–4 раза, повышается надежность тягового привода.

Таким образом, два типа горно-транспортных комплексов эксплуатируются на подземных рудниках одновременно: самоходное оборудование на горизонте выпуска (очистные работы) и локомотивная откатка как следующее звено в технологическом транспортном потоке (магистральный транспорт).

При решении задач диспетчеризации и автоматизации управления этими комплексами необходимо учитывать параметрическую и технологическую связь между ними.

Интересные погрузочно-транспортные комплексы были предложены рядом компаний для подземного Яковлевского рудника при добыче железной руды в сложных горно-технических условиях. Так, ЗАО «ПКИ Горнефтемаш» (г. Пермь) предложен автоматизированный комплекс с донной разгрузкой вагонеток, включающий в себя один (или два) электровоза ЭКА-20, состав вагонеток с донной разгрузкой ВДР-6 (8–15 вагонеток), станции разгрузки на две линии с проталкиванием вагонеток либо электровозом, либо полиуретановыми роликами, приводимыми во вращение приводом загрузочной станции с вибропитателем типа ВВДР-5 или ВДПУ-4 (ВДПУ-6), и комплект автоматики для управления загрузочно-разгрузочными работами.

Отличительными (и положительными) признаками комплекса являются:

- шарнирное крепление днища к стенкам кузова, позволяющее поворачиваться днищу вместе с полускатами при разгрузке вагонетки;
- большая вместимость вагонеток (6 $м^3$);
- применение контактно-аккумуляторного электровоза с асинхронными двигателями и с подзарядкой батарей от контактной сети.

Состав разгружается на ходу, без остановки, при скорости движения 12 км/ч. Угол наклона днища вагонетки при разгрузке достигает 70°.

Загрузка состава производится дистанционно машинистом электровоза с помощью пульта, он также управляет электровозом, находясь вне его.

Предлагается автоматизировать движение поездов от пункта загрузки до пункта разгрузки с помощью тяговых подстанций и секционных выключателей с использованием микропроцессора.

Разгрузочное устройство может быть выполнено в двух вариантах:

- с приводом – в случае применения схемы с головным электровозом;
- без привода – в случае применения схемы с головным и хвостовым электровозами.

При автоматизированной разгрузке вагонеток с откидным днищем время разгрузки состава сокращается в 3–5 раз по сравнению с круговым опрокидывателем.

Компанией «Nordic Mine Technology» (Канада) предложен транспортный комплекс, состоящий из электровоза «Clayton» сцепной массой 20 т, вагонетки вместимостью 5.5 $м^3$ с донной разгрузкой, фронтального люкового устройства для загрузки, протяжного механизма и разгрузочного узла.

Электровоз имеет максимальную рабочую скорость 20 км/ч, мощность 2 × 56 кВт, максимальное тяговое усилие 50 кН. Напряжение в контактной сети 250 В.

*Электровоз* оснащен новейшей системой управления, обеспечивающей:

- управление тяговыми двигателями (структурный микропроцессор);
- ограничение пиков токов, защиту от температурной перегрузки, программируемые скорости движения.

Переносной программируемый прибор может использоваться для диагностики и как дисплей входных данных оператора в контроллер. Электровоз оснащен двумя независимыми системами торможения – главной электрической и вспомогательной с дисковыми тормозами. Локомотив выпускается серийно.

*Вагонетка* обеспечивает непрерывную загрузку состава, так как имеются перекрытия между вагонетками и в дополнение – резиновая полоска у краев вагонетки для недопущения просыпания руды. Масса полезного груза в составе в рассматриваемых условиях составляет 140 т.

Вся стальная конструкция обработана в дробеструйной установке.

*Люковое устройство* сконструировано для непрерывной загрузки состава в движении. Просыпание руды из состава исключено. Управление люком – электропневматическое с контрольной панелью впереди люка.

*Разгрузочный узел* включает: секции разгрузочной кривой, монтажные короба и поддерживающую консоль для секций кривой, балки, несущие ролики и роликовые узлы.

Протяжной механизм позволяет разгружать состав с одним локомотивом при скорости 2.4 км/ч автоматически или дистанционно. Поставляется собранным в единый комплект.

Из всех рассмотренных предложений для условий Яковлевского рудника представляет интерес предложение компании «Nordic» по следующим причинам:

1. оборудование выпускается серийно и хорошо зарекомендовало себя в эксплуатации;
2. конструкция электровоза выполнена на самом современном уровне, с использованием микропроцессорной техники и диагностического оборудования;
3. хорошо отработана конструкция вагонетки и другого оборудования комплекса, позволяющая обеспечить управление процессом в автоматизированном режиме;
4. при стоимости электровоза 300 тыс. долларов США и сроке службы 20 лет закупка такого оборудования не представляется столь дорогим мероприятием. Для сравнения: отечественные рудники покупают погрузочно-доставочные машины (ПДМ) у зарубежных фирм по цене от 300 тыс. долларов США до 450 тыс. долларов США, а таких машин на рудниках эксплуатируется по нескольку десятков единиц. Здесь же потребуется закупка двух, максимум – трех электровозов;
5. при разработке окончательного проекта транспортной системы Яковлевского рудника и положительного решения о закупке самого современного оборудования необходимо заложить в проект решение о полной автоматизации транспортного процесса, т. е. без участия человека (опыт рудника «Кируна», Швеция). На откаточном горизонте может быть оставлен для контроля всего один человек.

Производством горнотранспортного оборудования для подземных работ в Европе занимаются такие фирмы, как «Mantena AS» (Норвегия), «GIA industri ab» (Швеция), «Valente SpA» (Италия), «IGENO Schienenfahrzeuge GmbH Werk Niedersachswerfen» (Германия), «TVT NOVA d.o.o.» (Словения), «Siemens AG» (Германия), «ALSTOM» (Франция), «ROMARC» (Румыния). Наиболее известные фирмы в производстве горно-шахтного транспортного оборудования – первые три из приведенного перечня.

Таким образом, в горнодобывающей промышленности наблюдается постоянная модернизация погрузочно-транспортных комплексов, поиск новых технических решений, направленных как на повышение эффективности ГТК, так и на облегчение труда горняков, повышение безопасности за счет полной или частичной автоматизации транспортного процесса.

# 2. АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

## 2.1. Виды и структура информационных потоков

Объектом управления с помощью системы диспетчеризации в нашем случае являются рассмотренные выше горно-транспортные комплексы (ГТК), представляющие собой лишь часть, но наиболее важную, общей технологической системы карьера и подземного рудника. Рассмотрим вначале развитие систем диспетчеризации для открытых горных работ. Здесь ГТК включает в себя погрузочные средства (экскаваторы), транспортные средства (автосамосвалы, локомотивосоставы), вспомогательную технику (бульдозеры, ковшовые погрузчики) и дорожно-строительную технику (грейдеры, скреперы, рыхлители, катки, поливочные машины, пескоразбрасыватели и пр.). В состав ГТК входят также карьерные дороги, отвалы вкрышных пород, перегрузочные пункты, внутрикарьерные или вскрышные склады полезного ископаемого.

Таким образом, в структуре ГТК можно выделить две основные части – мобильную и стационарную, причем последнюю часть можно считать условно стационарной, так как и дороги (кроме магистральных), и отвалы меняют свое положение в пространстве по мере отработки карьера. Однако для управления их можно считать стационарными.

Любое управление техническим объектом, с точки зрения системного подхода, означает перевод его из первоначального (базового) состояния в другое, более высокого уровня (качества).

Так как ГТК является весьма сложной, многомерной системой, характеристики которой меняются динамично во времени и пространстве, то управление ею представляет собой, в первую очередь, управление прямыми и обратными связями между структурными элементами, входами и выходами системы. При этом за входы системы принимаются внешняя среда, которая оказывает влияние на функционирование системы, и управляющие воздействия либо оператора (диспетчера), либо некой технической системы.

Выходы системы (в данном случае – ГТК) – это материальные потоки (полезное ископаемое, вскрышные породы) и информационные (виртуальные) потоки, характеризующие состояние объектов ГТК и формирующие учет и контроль выполненной работы, расход энергоресурсов и материалов.

Безусловно, главной задачей системы диспетчеризации ГТК является управление материальными потоками (грузопотоками), обеспечивающее их необходимую расчетную мощность, стабильность и направление.

Грузопотоки в карьерах, использующих автомобильный и железнодорожный транспорт, обладают определенной дискретностью, которая определяется мощностью предприятия и грузоподъемностью транспортного средства и в итоге может определяться величиной интервала ($\Delta t$) между смежными разгрузками транспортных средств на приемном пункте.

Известно, что грузопоток, формируемый автосамосвалами на трассе, описывается распределением Пуассона, т. е. вероятность того, что, допустим, в течение часа на конечный пункт прибудет ровно $k$ автосамосвалов, может быть вычислена из выражения

$$P(k) = \frac{a^k e^{-\alpha}}{k!},$$

где $\alpha$ – среднее число автосамосвалов, работающих на трассе; $e$ – основание натуральных логарифмов.

Характеристика грузопотоков, их разветвленность непосредственно влияют на принципы построения системы диспетчеризации.

В грузопотоке дискретные величины – это автосамосвалы, движущиеся по двухмерным транспортным сетям.

Транспортный поток автосамосвалов обладает тремя основными свойствами [3].

1. **Неопределенность**. Управление автосамосвалами (активное) возлагается на водителя и частично на систему, которую образуют автосамосвалы (пассивное). Движение автосамосвалов в карьере определенным образом регулируется. Автотранспортный поток не имеет графика движения, поэтому в течение смены он функционирует как самонастраивающаяся система. Неотъемлемая характеристика транспортного потока – это его равновесное состояние. Различие в скоростных характеристиках автосамосвалов (различные модели машин, различный возраст) приводит к снижению средней скорости ($V_{ср}$) автотранспортного потока и, соответственно, к снижению его производительности.

2. **Конечность**. Параметрические размеры транспортных средств и сетей автодорог соизмеримы, поэтому на отдельных участках дорог возможно возникновение помех движению и скопление транспортных средств. Взаимодействие автосамосвалов между собой как элементов транспортной системы определяется скоростной характеристикой единичного автосамосвала. При этом скорости отдельных автосамосвалов являются конечной величиной и могут

изменяться во времени. Автотранспортным потокам свойственно уменьшение скорости движения автосамосвалов с ростом их числа в карьере. Таким образом, свойство конечности транспортного потока основано на том, что скорость движения и длина автосамосвала рассматриваются как конечные величины.

3. **Зависимость расстояния от времени**. Измерения положения самосвала в пространстве и времени, рассматривающиеся как стохастические процессы, не являются идентичными, так как скорость автосамосвалов не остается постоянной в течение любого отрезка времени. Возможность изменения скорости позволяет водителям эффективно управлять движением транспортных средств.

Транспортный поток характеризуется интенсивностью (ρ), плотностью (λ) и скоростью движения (υ). Интенсивность потока показывает, какое число автосамосвалов проходит заданный участок дороги в единицу времени (обычно за 1 час).

Плотность определяется числом автосамосвалов, находящихся в любой отрезок времени на наблюдаемом участке дороги.

Скорость потока есть функциональная величина от расстояния ($L$) и времени движения ($t$).

Так как автосамосвалы взаимодействуют в одной системе – транспортном потоке, то можно пользоваться средней скоростью для группы автосамосвалов ($\upsilon'$). Интенстивность для группы самосвалов в потоке определеяется как $\rho = \lambda\upsilon'$, для одиночного – $\rho = \lambda\upsilon$.

Возможные состояния автотранспортного потока во времени и в пространстве могут быть выражены: 1) распределением его скорости в фиксированный момент времени; 2) распределением скорости в фиксированной точке пространства; 3) распределением длительности промежутка времени между двумя последовательными автосамосвалами в фиксированной точке пространства; 4) распределением интервалов между последовательными автосамосвалами в фиксированный момент времени.

Из теории транспортных потоков известно, что

$$\rho\lambda = \lambda\upsilon'(\lambda).$$

При образовании затора движение автосамосвалов прекращается, и $\rho(\lambda') = 0$, где $\lambda'$ соответствует сплошному их потоку. При отсутствии автосамосвалов $\rho(0) = 0$.

Параметры $\upsilon_0$ и $\lambda'$ связаны соотношением

$$(\upsilon / \upsilon_0) + (\lambda / \lambda') = 1.$$

Интенсивность потока с учетом этого соотношения

$$\rho = \lambda\upsilon_0 (1 - \lambda / \lambda'),$$

где $\upsilon_0$ – скорость свободного (без ограничений) движения в потоке автосамосвалов, км/ч; $\lambda$ и $\lambda'$ – соответственно конкретная для данного момента и максимальная плотность потока автосамосвалов на 1 км.

Автосамосвалы в реальных условиях движутся со скоростью $\upsilon < \upsilon_0$. Поэтому

$$\rho = \lambda\upsilon_0 > \rho\lambda'\upsilon,$$

где $\upsilon$ – конкретная скорость движения в потоке автосамосвалов, км/ч.

Расчет пропускной способности выездной траншеи необходимо выполнять по эффективной плотности потока автосамосвалов, а безопасную плотность следует рассматривать как ограничивающее условие [3].

На основании теоретических исследований сформулировано требование: использовать на раздельных маршрутах однотипные по скоростным качествам автосамосвалы. При этом разница в скоростях движения различных автосамосвалов в группе не должна превышать 2.3 км/ч (применительно к условиям Ингулецкого ГОКа). При эксплуатации в карьере автосамосвалов одной модели задача, естественно, упрощается, так как разность в их скоростях возможна лишь из-за различной их изношенности и не выйдет из указанного интервала.

Система формирования и управления грузопотоками должна обеспечивать как учет стохастического характера технологических процессов, так и контроль эффективности принимаемых решений. Для этой цели наиболее подходит имитационная динамическая модель погрузочно-транспортного процесса.

Управление грузопотоками в карьере осуществляется с помощью различных по степени сложности систем диспетчеризации, которые функционируют на многих отечественных и практически на всех зарубежных карьерах. Диспетчеризацию автотранспорта выгодно применять, если его производительность увеличивается при этом не менее чем на 3–5 %.

Нематериальные информационные потоки имеют обычно непрерывный характер или настолько малодискретны (0–10 с), что их можно считать непрерывными. К таким потокам относится информация о местоположении мобильного объекта в каждый конкретный момент времени, скорости движения, загруженной в самосвал горной массе, расходе топлива. Эти потоки информации поступают в диспетчерский пункт, где с помощью специальных программных средств обрабатываются и доводятся до использования.



3 Зак. № 4488

## 2.2. Типы систем управления горно-транспортными комплексами

Потребность в разработке систем управления горно-транспортными комплексами существовала всегда, но более-менее четкое их обозначение произошло в начале 60-х годов прошлого века. В зависимости от сложности поставленных задач зависела и сложность иерархической структуры систем управления ГТК.

Принято разделять АСУ ГТК на три основных подтипа.

1. Системы с ручным режимом – системы, предоставляющие всю необходимую информацию о технологических параметрах производимых работ и, возможено, о техническом состоянии объектов, на основе которой решение принимает диспетчер или соответствующий персонал.

2. Системы с режимом советчика – системы, не только снимающие информацию с датчиков, но и обрабатывающие ее для выдачи диспетчеру одного оптимального варианта или нескольких вариантов решения на выбор.

3. Системы с диалоговым режимом – это системы, имеющие те же возможности, что и системы с режимом советчика, но работающие на принципе заранее заданных критериев (условий), которые диспетчер может в реальном времени изменять в зависимости от обстановки.

В последних разработках имеется модуль оптимизации, который имеет, кроме «режима советчика», полностью автоматический режим, допускаемый для тех или иных операций на основе заданных критериев оптимизации и их весовых коэффициентов. В этом режиме диспетчер только отслеживает результаты принятых системой решений, но может при необходимости вмешиваться в управление.

Кроме того, АСУ ГТК подразделяются также на:

1. системы с замкнутым циклом: каждый автосамосвал в начале смены закрепляется за определенным экскаватором или перегрузочным складом. В этом случае при вынужденном просто́е (поломке) экскаватора или самосвала диспетчер вводит другой вариант, зачастую не самый лучший, так как при этом велико влияние «человеческого фактора»;

2. системы с открытым циклом: автосамосвалы распределяются между погрузочными средствами и пунктами разгрузки динамически, в зависимости от занятости автосамосвалов и погрузочных средств во избежание их простоя, а также исходя из других критериев, например, из состава рудосодержащей массы в экскаваторных забоях при решении задачи усреднения шихты на перегрузочных складах.

Ясно, что системы с возможностью оптимизации могут применяться только при открытом цикле, т. е. при динамическом определении маршрутов автосамосвалов.

С помощью АСУ ГТК решаются четыре базовые задачи горного производства:

- учет горной массы;
- учет использования оборудования;
- контроль хода производства;
- оптимизация управления автосамосвалами.

Из этих задач вытекают следующие функции АСУ ГТК:

- весовой контроль горной массы, загружаемой в автосамосвал экскаватором или погрузчиком;
- временной контроль всех видов работ и простоев автосамосвалов и обслуживающих их экскаваторов или погрузчиков;
- оптимальное распределение порожних и груженых автосамосвалов к погрузочным и разгрузочным пунктам при работе в открытом цикле и перераспределение в случае надобности при работе в закрытом цикле;
- контроль выполнения сменного задания каждым автосамосвалом и экскаватором или погрузчиком;
- формирование внутрисменной информации, необходимой для оптимизации работы водителей автосамосвалов и обслуживающих их машинистов экскаваторов или погрузчиков;
- учет выполненной работы за смену, сутки, месяц и т. д.

По мере развития АСУ ГТК их классификация будет совершенствоваться.

## 2.3. Системы управления горно-транспортными комплексами на первом этапе их развития

Развитие АСУ ТП, особенно на технологическом транспорте, происходило на протяжении последних 30–35 лет. Известны такие системы, как «Карат», «Пуск», «Кварцит» и «Гранит», которые работают в «режиме советчика» по замкнутому циклу.

***Система «Карат»*** разработана Центральным научно-исследовательским институтом комплексной автоматизации (ЦНИИКА) и предназначена для решения следующих задач горного производства:

- оперативного планирования объемов добычи руды экскаваторами в режиме усреднения ее качества;
- оптимального планирования транспортных средств и распределения их по пунктам погрузки и разгрузки;

• сбора первичной информации, ее обработки и выдачи результатов расчета оперативных показателей работы экскаваторно-автомобильного комплекса для анализа, выработки решений и планирования работы на следующие смены.

Она позволяет опознавать номера автосамосвалов на контрольных пунктах, взвешивать их на ходу, информировать о перевозимом объеме горной массы водителей автосамосвалов и диспетчера, контролировать автосамосвал при сходе его с линии.

При резких изменениях производственной ситуации (выход из строя погрузочных экскаваторов, перегрузочных пунктов, обогатительных фабрик, изменение содержания руды в забоях и т. д.) производится перезакрепление автосамосвалов, которое отражается на наборном поле.

Система была внедрена на Центральном карьере ГМК «Печенганикель» и на карьере «Мир» (ПО «Якуталмаз»).

Более совершенная система «Карат-М» работает в так называемом «диалоговом режиме», причем информация о состоянии экскаваторов, а также пунктов разгрузки передается машинистами и операторами непосредственно на пункт управления диспетчеру по радио или телефонной связи.

Внедрение системы позволило снизить простои автотранспорта в ожидании погрузки в среднем на 15–20 %, простои экскаватора в ожидании транспорта – на 20 %, повысить однородность качества руды, поступающей на обогатительную фабрику, увеличить коэффициент использования грузоподъемности автотранспорта на 17 %, повысить культуру производства.

В то же время система «Карат-М» и аналогичные ей системы не позволяли осуществлять контроль за многими важными эксплуатационными характеристиками работы автосамосвалов, что приводило к необоснованным и завышенным затратам на горюче-смазочные материалы, техническое обслуживание и ремонт, на автомобильные шины. В настоящее время из-за устаревшей элементной базы системы подобного типа не функционируют.

***Система «Кварцит»***, внедренная в свое время на Ингулецком ГОКе, функционировала в «ручном режиме». Эта система позволяла, наряду с функциями учета работы экскаваторов и автосамосвалов, производить ручное адресование автосамосвалов на погрузку и разгрузку в соответствии с планом-графиком, рассчитанным в информационном вычислительном центре.

В состав системы «Кварцит» входят автомобильные весы, датчик номера автосамосвала, устройство опознавания и диспетчерский пульт. На запоминающий регистр диспетчерского пульта поступает информация о количестве горной массы с автомобильных весов, о номере автосамосвала с устройства опознавания, о номере

погрузочного экскаватора и о месте разгрузки с наборного поля диспетчерского пульта. Сформированная информация выводится на перфоленту и на световое табло автомобильных весов. При въезде в карьер автосамосвала на световом табло высвечивается адрес погрузки и разгрузки, набираемый вручную диспетчером на наборном поле пульта.

Более совершенными системами, прошедшими опытно-промышленную эксплуатацию, являлись на тот период времени системы «Комплекс-АТ» и «Гермес». Они относятся к классу информационно-управляющих систем, которые реализуют как информационно-вычислительные функции, так и управляющие и вычислительные.

Несомненно, эти системы выполнили свою роль, заложили основу для применения более совершенных систем АСУ ГТК, обладающих несоизмеримо большими возможностями.

## 2.4. Анализ современных систем управления горно-транспортными комплексами

Информационные компьютерные технологии стали широко применяться в горнодобывающей промышленности в последнее десятилетие XX в. Падение цен на металлы в этот период и, как следствие этого, экономический спад в горнодобывающих отраслях промышленности явились стимулирующими моментами к развитию и внедрению на горных предприятиях информационных технологий для планирования и управления производством. Главная цель внедрения таких технологий состояла в повышении эффективности работы горного предприятия за счет улучшения организации производства, оптимизации ведения горных работ, минимизации затрат и потерь на всех этапах добычного цикла и снижения таким образом себестоимости конечной продукции. Так совпало, что в начале 90-х годов, а именно, после операции «Буря в пустыне» разработанные ранее для военных целей системы глобального позиционирования определения координат и скорости подвижных объектов стали доступны для гражданских применений. Горная промышленность стала одной из первых отраслей эффективного применения навигационных технологий для задач мониторинга и диспетчеризации мобильного оборудования карьеров. Внедрение систем диспетчеризации позволило горным компаниям повысить на 10–15 % общую производительность производства и, тем самым, несколько смягчить последствия экономического спада в добывающих отраслях.

Сначала такие системы появились в США (компания «Modular»), Канаде («Wenco») и Австралии («Micro Mine») и уже потом в России.

На российском рынке ведущими компаниями по разработке ГТК на горных предприятиях являются ООО «ВИСТ Групп», ЗАО «Союзтехноком» и ЗАО «Промтех». Две первые из них работают по диспетчеризации ГТК на открытых горных работах, а последняя специализируется на ГТК для подземных работ, автоматизации обогатительных фабрик и других промышленных производств.

### 2.4.1. Система управления ГТК «КАРЬЕР» компании ООО «ВИСТ Групп»

В странах СНГ и ближнего зарубежья лидером по числу внедрений является система диспетчеризации горно-транспортного комплекса «КАРЬЕР», которая была разработана компанией «ВИСТ Групп» в рамках соглашения о стратегическом партнерстве с РУПП «Белорусский автомобильный завод» и внедряется на горных предприятиях с 1999 г. Отдельные компоненты системы были разработаны с участием Института электронных управляющих машин, а начало разработки было положено в Институте проблем комплексного освоения недр РАН под руководством академика К. Н. Трубецкого [33–37]. Сегодня эта система успешно эксплуатируется на многих горнодобывающих предприятиях не только на территории России, но и за ее пределами. Среди пользователей Системы такие российские предприятия, как ЗАО «Черниговец», ОАО УК «Южный Кузбасс», ОАО «Ачинский глиноземный комбинат», ОАО «Разрез Киселевский», ОАО «ММК», ОАО «Стойленский ГОК», ЗАО «ЛуТЭК». На Украине система установлена на ОАО «Полтавский ГОК», ОАО «Ингулецкий ГОК», ОАО «Mittal Steel Кривой Рог», ОАО «Центральный ГОК», ОАО «Северный ГОК». В Монголии система используется на карьере СП «ЭРДЭНЭТ». Сейчас система внедряется в АО «ССГПО» (Казахстан), Иркутском и Кемеровском филиалах ОАО «СУЭК» (Тугнуйский разрез и разрез «Заречный»), ОАО «Алданзолото», ОАО «Золото Северного Урала», Коршуновском ГОКе, Талдинском разрезе и разрезе «Красный Брод» (ОАО ХК «Кузбассразрезуголь»).

Первоначально применение системы ограничивалось решением задач мониторинга большегрузных автосамосвалов БелАЗ, но со времени первых инсталляций системы диспетчеризации «КАРЬЕР» произошло существенное ее развитие как по составу горной техники, вовлекаемой в ее работу, так и по перечню решаемых задач. На сегодняшний день система диспетчеризации «КАРЬЕР» является полнофункциональной системой управления горно-транспортным комплексом и эффективным инструментом оптимизации бизнес-процессов предприятия.

Система «КАРЬЕР» позволяет осуществлять не только мониторинг транспортных средств и процессов, но и проводить детальный анализ работы ГТК, формировать различные типы отчетов

В последующих главах монографии подробно описаны структура и основные программно-аппаратные компоненты системы «КАРЬЕР». Здесь в этом обзоре мы остановимся на основных направлениях развития системы «КАРЬЕР», поскольку они отражают общие тенденции модернизации диспетчерских систем, обусловленных появлением новых информационных и телекоммуникационных технологий, а также повышением требований горных предприятий к функциональности решаемых системами задач.

**Основные направления развития программного обеспечения системы «КАРЬЕР»**

Основной акцент в развитии программного обеспечения системы диспетчеризации ГТК «КАРЬЕР» делается на решении задач оперативного управления работой карьера. Для этого в состав Системы добавлены модуль оптимизации и автоматического диспетчерирования, поддержка технологических бизнес-процессов. В состав оборудования включаются графические панели, промышленные компьютеры и носимые устройства. Одновременное использование всех перечисленных инноваций позволяет получить максимальный эффект.

При таком подходе функции всех участников бизнес-процесса (водителя, диспетчера, механика и прочих) точно описаны и согласованы с той аналитической информацией, которую дает система, а также позволяют использовать интеллектуальные возможности системы по оперативному управлению. Кроме того, все действия пользователей фиксируются в базе данных. Всегда можно узнать, что, как и когда происходило, в чем заключалось общение диспетчера с водителем в том или ином случае

Сегодня можно выделить две версии системы «КАРЬЕР». Первая версия была разработана еще в 2001 г. и в настоящий момент осуществляется только ее поддержка. Впервые внедренная на ОАО «УК «Южный Кузбасс» в 2004 г. вторая версия системы более функциональна. Основное отличие этих двух версий друг от друга – место обработки данных (в первой версии Системы обработка данных производится на сервере, во второй, так называемой «событийной» – на контроллере), что и влияет на расширение функциональности системы. Новая версия Системы дополнена модулем выдачи сменного задания, функцией контроля технической готовности автосамосвалов, выполнения плана и т. д.

**Средства передачи данных и идентификация объектов в системе «КАРЬЕР»**

Основные проблемы передачи информации от мобильных объектов в диспетчерский центр заключаются в ограниченной скорости

и пропускной способности канала передачи данных, а также в качестве радио-покрытия рабочей зоны. С вовлечением в систему новых видов транспортных средств частота опроса каждой единицы техники уменьшается при организации связи традиционным способом «циклического» опроса. Одновременно с уменьшением частоты опроса становится критичным исчезновение объектов из зоны радиовидимости, т. к. это приводит к потере информации о рейсах.

Для решения этих проблем специалистами «ВИСТ Групп» разработаны альтернативные варианты организации передачи данных в системе диспетчеризации: с помощью цифровой радиосвязи стандарта TETRA, сотовой радиосвязи стандарта GSM, технологии MESH или с применением технологии радио-идентификации (RFID). Использование современных технологий позволяет существенно увеличить объем информации, который может быть передан по радиоканалу, а также позволяет интенсивно использовать радиоканалы для передачи графической информации, результатов диагностики состояния оборудования, видеонаблюдений. Выбор технологии осуществляется в зависимости от конкретных условий работы и задач предприятия, внедряющего систему.

**Перспективы интеграции бортовых систем контроля и управления автосамосвалов БелАЗ. Диагностика параметров тягового электропривода**

Устанавливаемые на автосамосвал бортовые системы управления тяговым электроприводом (СУТЭП-01), контроля загрузки и расхода топлива (СКЗиТ), контроля давления в шинах (СКД), диагностики дизеля функционируют автономно и решают задачи в соответствии со своим назначением. Интеграция бортового оборудования автосамосвалов позволяет качественно усовершенствовать алгоритмы работы систем по сравнению с их автономным функционированием. Так, например, в СКЗиТ, устанавливаемой на автосамосвалы грузоподъемностью 55÷220 т непосредственно на заводе «БелАЗ», имеются две возможности интеграции с другими бортовыми системами управления и контроля автосамосвала, а именно, с системой управления тяговым электроприводом (СУТЭП-01), системами диагностики основных узлов и агрегатов самосвала (контроль работы дизеля, давления в шинах и др.).

Одной из важнейших задач совершенствования СУТЭП является разработка алгоритма увязки параметров управления электроприводом с весовой загрузкой самосвала. Такая схема была разработана специалистами «ВИСТ Групп» совместно с Санкт-Петербургским государственным горным институтом (ТУ).

**Работа топливозаправщиков в составе системы «КАРЬЕР»**

Работы по включению топливозаправщиков в состав системы диспетчеризации ГТК были начаты специалистами «ВИСТ

Групп» в начале 2006 г. и охватили одновременно несколько регионов СНГ. На сегодняшний день пользователям предлагается два варианта комплекта оборудования, которые отличаются друг от друга как по стоимости, так и по функциональности. В зависимости от конкретных потребностей заказчика для оснащения топливозаправщика применяются разные подходы. Комплексное оснащение топливозаправщика позволяет контролировать все технологические аспекты работы этой техники, исключая возможность хищения ГСМ.

**Интеграционные решения ООО «ВИСТ Групп»**

Возможность интеграции систем, используемых Предприятием, позволяет существенно повысить эффективность решения задач управления бизнес-процессами. Одним из наиболее актуальных вопросов для горнодобывающих предприятий является интеграция систем диспетчеризации с горно-геологическими системами, которая позволит существенно улучшить контроль качества добываемых полезных ископаемых.

В системе диспетчеризации ГТК «КАРЬЕР» могут использоваться геологические модели и планы горных работ, созданные с помощью горно-геологической системы. В результате интеграции этих двух систем становится возможным в режиме реального времени получать информацию о процентном содержании полезного компонента в руде в кузове самосвала (и другие показатели), подводить общую статистику с учетом процентного содержания, а также обеспечивать работу модуля оптимизации.

Не меньшее значение имеет возможность интеграции системы диспетчеризации с EAM-системами и SAP.

**Система удаленной диагностики состояния экскаваторов (БСКЭ)**

Система удаленной диагностики состояния экскаваторов сегодня входит в состав системы управления ГТК «КАРЬЕР» и предназначена для решения таких задач, как предупреждение отказов, контроль параметров электрооборудования и потребления электроэнергии, осуществление непрерывного автоматического контроля процесса работы экскаватора и объема выполненных работ. Используемые технологии позволяют контролировать уклон, зазор центральной цапфы, выполнять высокоточное позиционирование ковша экскаватора.

С целью совершенствования системы для удаленной диагностики состояния экскаватора ООО «ВИСТ Групп» ведет работу по контролю параметров основных узлов экскаваторов совместно с ОМЗ «Горное оборудование и технологии», СПГГИ (ТУ).

**Микропроцессорная система управления СЦБ станции горного предприятия**

Сегодня на многих предприятиях транспортировка руды из карьера на обогатительную и дробильную фабрики осуществляется железнодорожным транспортом. Значительная удаленность фабрик от места добычи (около 10 км) сильно осложняет эту задачу, что выражается в неэффективном использовании железнодорожного транспорта и простоях оборудования фабрик, не обеспеченных сырьем. Решением этой проблемы может быть только грамотная диспетчеризация железнодорожных перевозок, опирающаяся на полное владение оперативной обстановкой на железнодорожных путях.

Эффективным вложением средств при модернизации систем СЦБ является их перевод на микропроцессорную основу. Микропроцессорная система управления (МСУ СЦБ), созданная совместными усилиями специалистов ООО «ВИСТ групп» и ОАО «Михайловский ГОК», решает проблему в комплексе. МСУ не только обеспечивает управление движением по станции, как это делала традиционная система СЦБ, но и предоставляет ряд дополнительных возможностей, поднимающих управление движением по станции на качественно новый уровень. Кроме того, система изначально создавалась с расчетом на работу в системе диспетчеризации и уже сейчас готова быть источником данных для контроля и анализа оперативной обстановки в реальном времени. Сейчас эта система внедряется на ОАО «Стойленский ГОК».

**Датчиковое оборудование, используемое в составе системы «КАРЬЕР»**

Одно из основных направлений развития СКЗ – увеличение числа контролируемых параметров. Специалистами «ВИСТ Групп Сенсор» (г. Минск) разработан процессорный концентратор-преобразователь аналоговых сигналов сенсоров (ПИКАП), обеспечивающий первичную обработку сигналов с сенсоров с учетом показаний встроенного инклинометра, сохранение в энергонезависимой памяти «истории» работы прибора и т. д. Используемая элементная база позволяет получать высокие технические характеристики при сохранении приемлемой цены и небольших габаритов изделия. В результате применения ПИКАП существенно уменьшается объем коммутационных кабелей, повышается точность и надежность измерений СКЗ. Также разработаны и применяются на предприятиях датчики угла поворота, датчики тока, датчики зазора Д310 для экскаваторов, емкостные преобразователи уровня.

### 2.4.2. Система компании «Союзтехноком»

Предлагаемая компанией система управления ГТК основана на современных средствах программного обеспечения и использовании, как и все подобные системы, спутниковой навигации (GPS).

Система обеспечивает в режиме «on line» автоматический контроль использования автосамосвалов, регистрацию простоев, сигнализацию несанкционированного слива топлива, оценку качества технологических дорог и погрузочно-разгрузочных площадок на маршрутах следования.

В течение рабочей смены в режиме реального времени фиксируются перемещения автосамосвала с грузом и без груза, загрузка, разгрузка, простои с указанием причин, возникновение неисправностей.

В автоматическом режиме регистрируется рабочее время водителя, пробег автосамосвала и моточасы наработки двигателя, взвешивается перевозимый груз, измеряется расход топлива, осуществляется прием-сдача рабочих смен, формируются сменные отчеты в принятой на предприятии системе учета.

Система обеспечивает автоматический контроль работы экскаваторов и мониторинг энергопотребления.

Система обеспечивает электронную защиту технологической информации и регламентирует доступ персонала к управлению горными работами.

Бортовой вычислитель способен обеспечивать автоматическую передачу технологической информации автосамосвалов в качестве:

- автономного взвешивающего устройства со считыванием информации на Notebook,
- элемента системы автоматического считывания информации в зоне прямой видимости с помощью микро-мощных средств связи без частного разрешения органов ГосСвязьНадзора,
- элемента автоматизированного стационарного комплекса управления и учета работы технологического транспорта на угольных разрезах и рудных карьерах.

Система автоматического управления производством предлагает создание единого информационного пространства «автосамосвал – водитель – диспетчерский пост – водитель». Бортовые вычислители, устройства GPS навигации и система телеметрии обеспечивают передачу информации с бортов на ключевые технологические посты. Оригинальные электронные датчики и спецоборудование обеспечивают оперативную диагностику неисправностей на борту, выбор условий эксплуатации и режимов движения (рис. 2.1, 2.2).

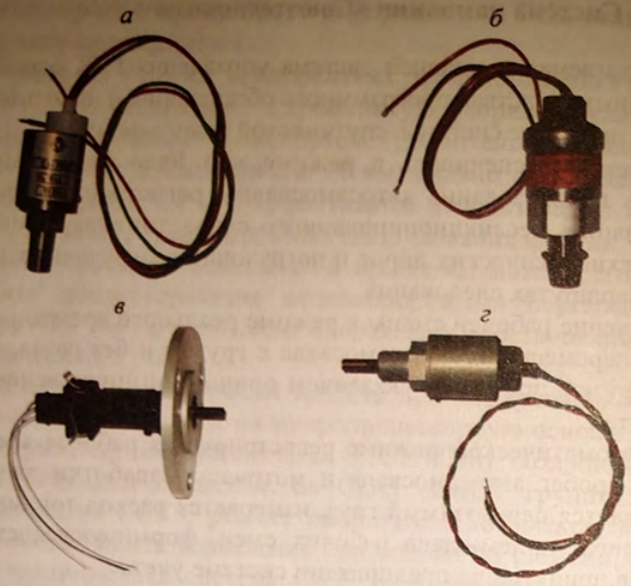



**Рис. 2.1. Датчиковая аппаратура:**
*а* – датчик веса топлива; *б* – датчик давления; *в* – датчик скорости; *г* – датчик температуры.

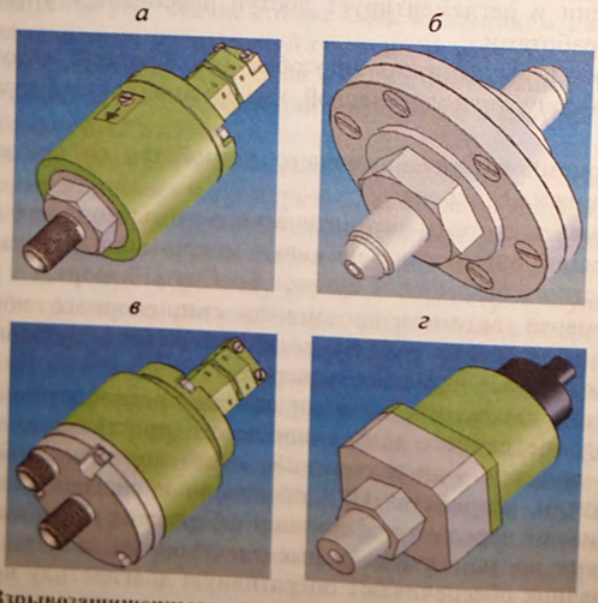



**Рис. 2.2. Взрывозащищенные датчики:**
*а* – датчик избыточного давления; *б* – сигнализатор перепада давлений СПВ; *в* – разделитель мембранный РВ; *г* – сигнализатор избыточного давления СД.

Пост Горного диспетчера формирует заявку на вывоз горной массы по участкам с указанием погрузочных средств.

Автоматизированное рабочее место (АРМ) медицинского освидетельствования выдает водителям допуск к работе. АРМ технологии автотранспорта выдает плановые задания экипажам на рабочую смену.

Пост диспетчера автотранспорта формирует сменный наряд, вдет непрерывный контроль работы автосамосвалов на маршрутах следования в режиме «on-line», обеспечивает автоматическую выдачу водителям путевых листов установленной формы и «корешков» итогов работы за смену.

Пост ТО и диагностики формирует план-график ТО парка машин, проводит плановую и экстренную диагностику на стационарных и мобильных стендах.

АРМ лаборатории ГСМ выдает результаты анализа масел и топлива на автосамосвалах.

АРМ сменного механика контролирует техническое состояние автосамосвалов, выдает оперативную информацию для ремонтных служб.

АРМ маркшейдера поддерживает цифровой план горных работ, корректирует месторождение погрузочных средств и плотность породы в целике.

Стационарный вычислительный комплекс обеспечивает хранение оперативной производственно-технологической информации в течение пяти лет.

Доступ к ПК постов и бортовым вычислителям и защита информации гарантируются применением магнитных прокси-карт на специальных считывающих устройствах.

Несомненным достоинством системы «Союзтехноком» является надежное всестороннее обеспечение контроля текущего состояния различных узлов и элементов конструкции самосвала. Например, пост ТО и диагностики АРМ лаборатории ГСМ позволяет прогнозировать неисправность машины, составлять оптимальные графики ТО. В АРМ сменного механика осуществляется контроль технических параметров автосамосвала, оценивается состояние технологического транспорта, составляется диаграмма неисправностей машин и производится их регистрация. Производится также идентификация неисправного узла. В результате накапливается справочная информация для заказа запасных частей. Разработана и внедрена диагностическая аппаратура и стенды (рис. 2.3, 2.4, 2.5).

Система выдает полную информацию о работе автосамосвала на линии за смену – перевезенной горной массе, числе рейсов, пробеге с грузом и порожняком, расходе топлива, простоях и пр. Фиксируются все элементы рабочего цикла – время погрузки, движения

с грузом, разгрузки, движения порожняком. С помощью инструментальных средств фиксируется, а затем анализируется профиль кузовных дорог, их качество (рис. 2.6). Таким образом, в результате складывается полная картина использования автосамосвалов и эффективности работы автотранспорта. В качестве промежуточных документов дается распечатка отчета о простоях за смену, почасовая регистрация выполненных рейсов, объемов перевезенного груза, диаграмма загрузки самосвала, в которой фиксируется средняя его загрузка за рейс и указывается коэффициент перегрузки в %.

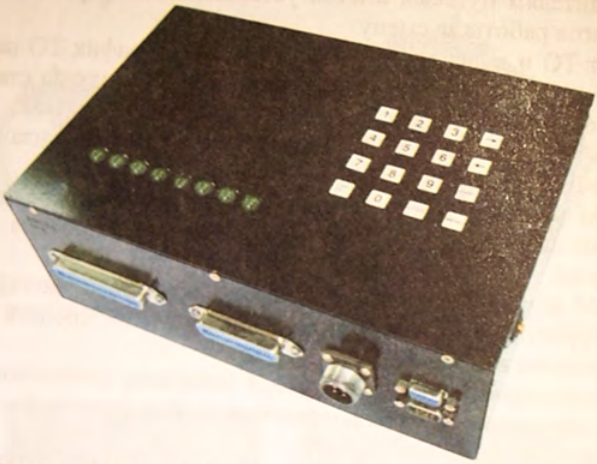


Рис. 2.3. Диагностический анализатор рабочих процессов.



Рис. 2.4. Диагностический комплекс.



Рис. 2.5. Диагностический стенд.

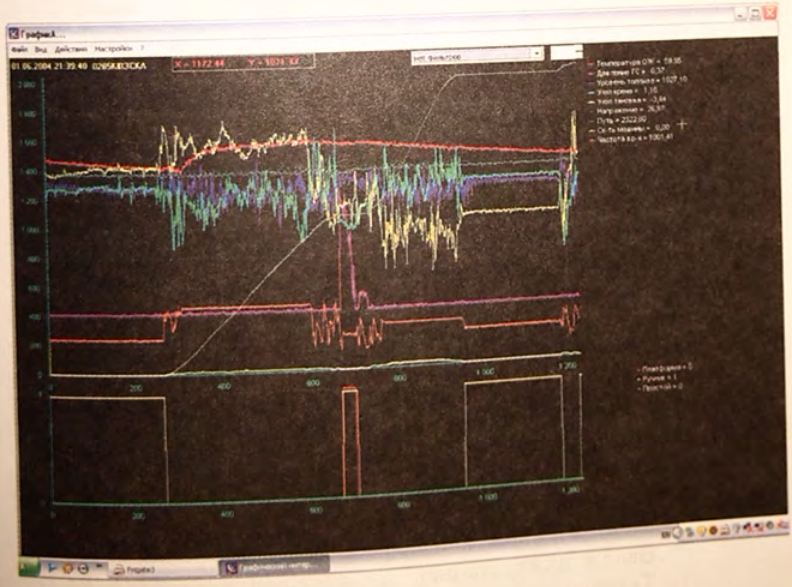


Рис. 2.6. Система анализа профиля дорог.

Система диспетчеризации «Союзтехнокома» внедрена на некоторых угольных разрезах Кузбасса.

### 2.4.3. АСУ ТП для подземных рудников компании «ПРОМТЕХ»

Инжиниринговая компания **«Промышленные технологии» («Промтех»)** разрабатывает и внедряет комплексные системы автоматизации технологических процессов на подземных рудниках, обогатительных фабриках и металлургических производствах.

**Направление деятельности компании заключаются в следующем.**

- Проектирование и реализация комплексных и локальных систем автоматизации предприятий, в том числе:
  - автоматизированные системы оперативно-диспетчерского управления шахт и рудников (АСОДУ);
  - автоматизированные системы управления технологическими процессами промышленных предприятий различных отраслей промышленности (АСУТП);
  - системы связи предприятий.
- Производство оборудования для автоматизации подземных работ.
- Поставка оборудования для решения следующих задач:
  - управление уровнем жидких и сыпучих материалов;
  - управление расходом жидких материалов;
  - управление расходом сыпучих материалов;
  - взвешивание материалов на конвейере;
  - измерение расхода газа;
  - контроль концентрации горючих и токсичных газов;
  - измерение температуры;
  - измерение давления;
  - контроллеры для систем автоматического управления;
  - датчики вибрации;
  - промышленные и ж/д весы;
  - крановые весы;
  - измерение влажности, содержания органических примесей;
  - измерение толщины пленок;
  - измерение плотности;
  - сумматоры, индикаторы;
  - запорная арматура.
  - Монтажно-наладочные работы.
  - Ввод в эксплуатацию.
  - Техническая поддержка.
  - Гарантийное и послегарантийное обслуживание.

Автоматизированные системы оперативно-диспетчерского управления горными предприятиями (АСДУ) обеспечивают решение следующих задач:

- получение своевременной и достоверной информации с технологических объектов;
- снижение трудоемкости управления технологическими процессами;
- оптимизация режимов работы технологических объектов;
- повышение точности и оперативности измерения параметров технологических процессов;
- внедрение математических методов анализа и управления технологическими процессами и объектами;
- замена физически и морально устаревших средств автоматизации;
- повышение безопасности ведения горных работ;
- уменьшение численности персонала.

АСДУ состоит из отдельных технологически ориентированных автоматизированных подсистем, объединяемых магистральной сетью передачи данных и комплексом центрального диспетчерского управления предприятия.

**Основные технологические подсистемы.**

1. Очистные и подготовительные работы.
2. Закладка выработанного пространства.
3. Транспорт.
4. Подъемные установки.
5. Контроль качества.

**Обеспечение жизнедеятельности рудника.**

6. Электроснабжение.
7. Тепловодоснабжение.
8. Воздухоснабжение.
9. Проветривание.
10. Водоотлив.
11. Связь.

**Обеспечение безопасности горных работ.**

12. Газовый контроль.
13. Контроль пожароопасности и пожаротушение.
14. Прогнозирование горных ударов.
15. План ликвидации аварий.

**Вспомогательные подсистемы.**

16. Мониторинг персонала и транспортных средств.
17. Автотабельный учет.
18. Снабжение расходными материалами.
19. Промышленное телевидение.



4 Зак. № 4488

Как видно из структуры, она имеет глобальный характер и охватывает практически все технологические процессы и оборудование горного производства, а диспетчеризация ГТК входит в нее составной частью.

Наиболее сложной задачей в подземных условиях является обеспечение надежной передачи информации от объекта к потребителю (на центральный диспетчерский пульт). При этом сети передачи данных можно реализовать следующими способами

**Сети передачи данных**

| | |
|---|---|
| **Физический уровень:** | 1. Существующий медный кабель.<br>2. Медный кабель и оптическое волокно.<br>3. Медный кабель, оптическое волокно и радиочастотный фидер. |
| **Протоколы:** | ModBus и/или Industrial Ethernet. |

Система может быть построена, только с использованием протокола ModBus и существующих телефонных линии связи либо с использованием двух физических сред передачи данных: оптоволоконного кабеля и/или медного кабеля. Для более сложных конфигураций возможно применение также радиочастотного фидера (рис. 2.7).

Для обеспечения надежной работы систем связи и передачи данных рекомендуется использовать **два канала передачи данных**: основной и резервный.

- **Основной канал** для передачи данных между нижним и верхним уровнем АСДУ и выдачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы — сеть **Industrial Ethernet**.
- **Резервный канал** связи — сеть **ModBus**.

В этом случае система реализуется с использованием топологии «кольцо» для Industrial Ethernet и «шина» для ModBus RTU.

Подключение оконечных устройств, использующих искробезопасные каналы связи, к сети Ethernet осуществляется через специально разработанные нашей компанией и имеющие разрешение Гостехнадзора РФ для подземного применения станции связи Р5506.01Е.




**Рис. 2.7. Схема сети передачи информации.**

**Комплекс технических средств АСДУ** представляет собой трехуровневую систему:

- **верхний уровень** — операторские станции, коммуникационное оборудование, серверы, локальные вычислительные сети и программное обеспечение;
- **средний уровень** — контроллерное и сетевое оборудование для поверхностных и подземных объектов;
- **нижний уровень** — датчики и исполнительные механизмы для поверхностных и подземных объектов.

**Программно-технический комплекс АСДУ.** Комплекс технических средств (КТС) состоит из унифицированных компонентов, обеспечивающих реализацию функций АСДУ в полном объеме, и обладает **большим запасом вычислительной мощности**.

**Блочно-модульный принцип построения** позволяет расширение функциональных возможностей путем наращивания дополнительных технических средств.

***Технические средства среднего уровня***

Центральным элементом системы АСДУ являются технические средства среднего уровня, представленные системой управления Commander TX 2100 и выполняющие следующие функции:

- сбор информации от дискретных и аналоговых датчиков;
- предварительная обработка информации;
- выдача управляющих воздействий на исполнительные механизмы.

**Характеристика системы управления TX 2100**

- коммуникационная шина с возможностью создания до 1000 дополнительных каналов ввода/вывода;
- простое программирование входов и выходов путем замены плат;
- программирование сигналов датчиков;
- программирование функций управления и контроля;
- сбор данных;
- шина CommandBus позволяет минимизировать затраты на прокладку кабеля и проводку;
- искробезопасное исполнение для применения в опасных зонах.

Базовыми элементами системы управления TX2100 являются модуль управления TX2101 и терминальный модуль TX2102.

**Модуль управления TX2101** является центральным элементом системы управления Commander (рис. 2.8). Он состоит из мощного процессора с графическим дисплеем, клавиатуры для программирования, двух коммуникационных портов и порта связи с распределенным вводом/выводом через CommandBus.

**Терминальный модуль TX2102** соединяется с Модулем Управления через шину CommandBus. В Терминальный Модуль

устанавливают до 8 плат ввода/вывода, которые конфигурируются через Модуль Управления.

**Питание** модулей системы управления осуществляется по шине CommandBus или от автономных источников питания.

Дальность передачи данных по шине Commandbus (рис. 2.9) от Модуля управления составляет около 1000–2000 м.

**Усилители**, поддерживающие связь по RS485, RS 232 и оптоволоконному кабелю, позволяют увеличить дальность передачи данных по шине Commandbus и емкость входов и выходов (рис. 2.10).

Усилители позволяют также создавать дополнительные линии связи («ответвления») к удаленно расположенным модулям распределенной системы (рис. 2.11).

Технические средства нижнего уровня выполняют функции (рис. 2.12):

- измерение технологических параметров;
- передача данных на контроллеры;

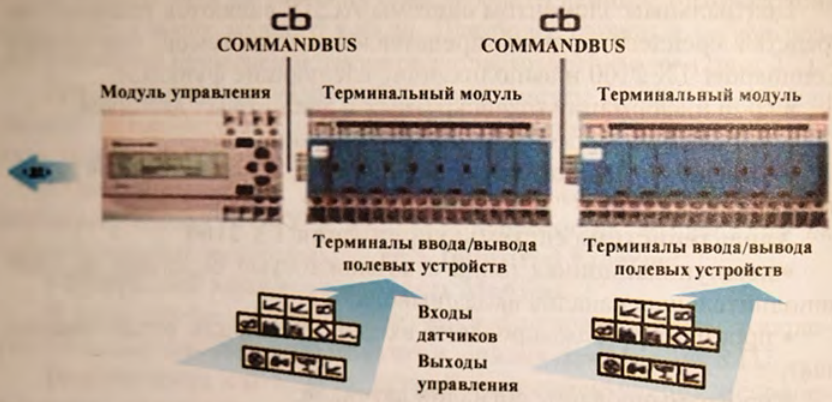



Рис. 2.8. Схема системы управления Commander.

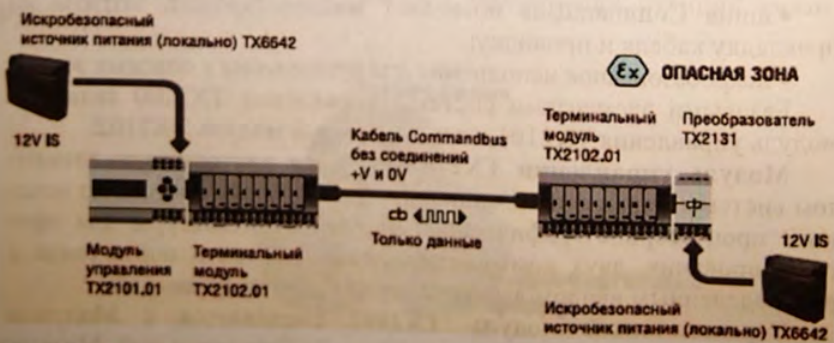



Рис. 2.9. Схема передачи данных по шине.

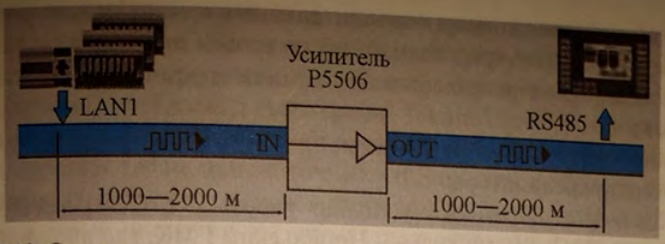



**Рис. 2.10. Схема передачи данных по шине с усилителями.**

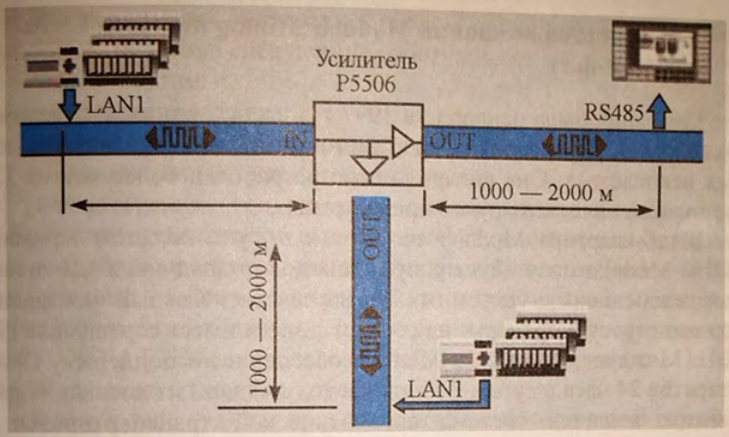



**Рис. 2.11. Схема дополнительных линий связи.**




**Рис. 2.12. Технические средства нижнего уровня.**

• выполнение команд исполнительными механизмами.

К техническим средствам нижнего уровня относятся:

• дискретные и аналоговые датчики технологических параметров;

• исполнительные механизмы;

• запорная арматура.

Компания «Промтех» успешно работает с Северо-Западным филиалом РАО «Норникель» – Норильским ГМК, где внедрила ряд своих разработок.

### 2.4.4. Система компании Modular Mining Systems, Inc (Modular)

Компания была основана в 1997 г. и стала мировым лидером в технологиях управления процессами добычи и переработки полезных ископаемых. Она внедрила свои разработки более чем на 130 горнодобывающих и других предприятиях.

Штаб-квартира Modular находится в Туксоне, штат Аризона, США. Modular использует услуги заводов-подрядчиков для производства основных системных компонентов. Каждый поставщик прошел строгую проверку на соответствие и имеет сертификат ISO 9001. Международная сеть Modular обеспечивает поддержку своих клиентов 24 часа в сутки, 365 дней в году. Одной из последних разработок является система автоматической транспортировки и управления поездами в реальном времени.

Безоператорные (автоматические) грузовые парки уже сейчас могут эффективно выполнять все необходимые операции на мировом уровне. Система автоматической транспортировки Modular представляет выгодные решения для рудников, которые хотят улучшить производственные возможности и увеличить безопасность при снижении затрат на эксплуатационные расходы. Система объединяет новейшие технологии высокоточного позиционирования (GPS), мониторинга ключевых показателей и безопасности. Система IntelliMine®, включающая DISPATCH®, выполняет для этой передовой технологии роль системы управления в реальном времени. Автоматически управляемые автосамосвалы являются следующим, логически-обоснованным и важным шагом к увеличению эффективности и уменьшению издержек.

Modular разработала интегрированный набор подсистем IntelliMine® для использования точности GPS полной мере. Системы ProVision® используют высокоточные технологии GPS, информацию программных пакетов для рудников, беспроводные радиосети и Цветные Графические Консоли (CGC) для обеспечения непрерывного потока высокоуровневой информации и передачи данных между

Операциями и Планированием в текущих проектах и рабочей средой в реальном времени. Системы ProVision® доступны для установки на экскаваторах, погрузчиках, самосвалах, локомотивах, бульдозерах.

Система управления карьерами IntelliMine® максимизирует производительность путем объединения процессов оптимизации транспортных задач, высокоточных GPS приложений, web-отчетов и новейших сетей радиосвязи с широким диапазоном MasterLink®. Эффективные инструменты управления отчетами и обслуживание органично встроены в систему для предоставления информации по ключевому оборудованию.

Для реализации системы на горном предприятии необходимо выполнить поэтапно следующую работу:

- аудит системы;
- инженерный анализ;
- анализ производительности;
- корпоративный сравнительный анализ.

*Аудит системы* – является начальным этапом. Он представляет собой обзор целостности данных, конфигураций и использования аппаратного и программного обеспечения. В нем основное внимание уделяется общим настройкам в диспетчерской или офисе, управлению базами данных, использованию и конфигурации системы DISPATCH®, использованию других инструментов IntelliMine®, а также средствам управления и отчетам.

В результате аудита управленческий и диспетчерский персонал будет иметь лучшее понимание системы в целом и ее связь с процессами добычи. Улучшится целостность данных и точность отчетов. Будут выделены потребности в обучении и зафиксированы правила функционирования системы.

*Инженерный анализ* – это систематический анализ процессов управления и добычи на рудниках. Он основан на системном аудите и дальнейшем анализе полученных данных, управления и отчетности. Результатом анализа является лучшее понимание оперативных и управленческих факторов, которые влияют на производительность рудника. Для тестирования, проверки, количественных измерений и генерации советов по управлению используются симуляции, то есть искусственно созданные ситуации.

Главным преимуществом инженерного анализа является определение возможностей для увеличения продуктивности рудника посредством управления и анализа рекомендованных процессов работы.

*Анализ производительности* – это систематический контроль производительности и эффективности оборудования с использованием стандартных метрик. Выявляется оборудование, не работающее на полную мощность, после чего производится анализ результатов. Для получения наиболее полной информации о доступности,

состоянии и производительности оборудования используется система ключевых показателей. Рекомендуются новые показатели для конкретных рудников. Определяются и назначаются параметры отчетности для дальнейших исследований.

В результате анализа производительности могут быть выявлены конкретные шаги, ведущие к получению быстрых и постоянных экономических результатов. Перед проведением анализа производительности необходимо провести системный аудит.

*Корпоративный сравнительный анализ*. Из анализа производительности, проведенного на нескольких рудниках компании, создается детальный анализ ключевых показателей эффективности использования оборудования (доступности, состояния, производительности) для всех рудников компании. Таким образом, можно определить и выделить в масштабе всей системы возможные действия по увеличению производительности. Это предоставляет мощный инструмент планирования и управления изменениями в работе.

Возможности и особенности системы диспетчеризации ГТК данной компании удобно проследить на примере инновационного проекта, выполненного в 2006 г. для ОАО «Апатит».

Modular предлагает шестиэтапный подход к внедрению системы управления:

Этап 1. Управление парком самосвалов и экскаваторов в реальном времени.

Этап 2. Оптимизация бурения.

Этап 3. Оптимизация взрывных работ.

Этап 4. Экскаваторы с GPS высокой точности (до 1 см).

Этап 5. Управление и оптимизация вспомогательного оборудования.

Этап 6. Оптимизация техобслуживания на руднике и мониторинг состояния оборудования.

При внедрении подобных систем предприятия концентрируются на получении прибыли через сокращение затрат.

В конечном счете, они обнаруживают что потенциальная прибыль, доступная при этом методе, ограничена полными производственными затратами на конкретном предприятии, и максимальное воздействие достигается очень быстро.

После достижения этого максимума поиск дальнейшего улучшения идет через увеличение производительности и объема производства или увеличения цен на металл, но этим часто трудно управлять. Именно в этом случае прогрессивные предприятия склоняются к использованию Информационных Технологий как средства получения прибыли выше пределов, достигаемых через сокращение затрат и применение стандартных методов повышения производительности.

### 2.4.5. Система диспетчеризации компании «Wenco»

Wenco International Mining System Ltd разрабатывает автоматизированные системы управления для карьеров с 1983 г. В настоящее время компания признана мировым лидером в разработке, внедрении и сопровождении компьютеризированных систем мониторинга и управления горным и транспортным оборудованием на карьерах на базе GPS технологии. Главный офис Wenco находится в Ванкувере, Канада.

«Wenco» ведет работы по всему миру, имея заказчиков в 12 странах, на 5 континентах и ведущих добычу более 10 видов минерального сырья. Системы Wenco имеются на нескольких языках, включая английский, испанский, французский и русский.

Внедренные системы на железорудных предприятиях:

- USX Corporation, United States Steel, Minntac Mine, USA;
- Evtac Mines, Thunderbird Mine, Eveleth, Minnesota, USA;
- Quebec Cartier Mining Co., Mont Wright Mine,Fermont, Quebec, Canada;
- Wabush Mines, Sculley Mine, Wabush, Labrador, Newfoundland, Canada.

За последние годы «Wenco» развивает свой бизнес в странах СНГ. В 2000 г. была внедрена АСУ Wenco на золоторудном руднике «Кумтор» в Кыргызстане, в 2003 г. – на меднорудном карьере «Нурказган» Корпорации «Казахмыс». В 2004 г. реализован крупный проект по созданию АСУ Wenco на алмазодобывающем карьере «Юбилейный» АК «АЛРОСА» в Республике Саха-Якутия. Система на карьере «Юбилейный» охватывает более 80 единиц экскаваторов, погрузчиков, автосамосвалов различных моделей и производителей, буровых станков и др. Система была изготовлена и поставлена в течение 4 месяцев и в последующие 4 месяца была инсталлирована и налажена в полном объеме, а также обучен персонал.

Специализированные технические средства для мобильного оборудования, программное обеспечение пользователя и документация пользователя выпускаются на русском языке.

**Система диспетчеризации Wenco выполняет следующие функции:**

- управление экскаваторно-автомобильным комплексом;
- автоматический сбор информации в режиме реального времени;
- управление оборудованием в режиме реального времени;
- автоматическое диспетчерирование;
- управление качеством руды и интерфейс к рудоконтрольным станциям;
- ведение Карты карьера в реальном времени (Mine View);

• контроль соблюдения маршрутов движения и пунктов разгрузки;

• контроль скорости движения автосамосвалов;

• мониторинг работы двигателей автосамосвалов на базе интерфейса Wenco;

• мониторинг заправок и расхода топлива автосамосвалами;

• контроль возможность хищения топлива;

• контроль загрузки автосамосвалов;

• мониторинг эксплуатации шин.

***Техническое обеспечение системы***

На каждой единице мобильного оборудования устанавливается бортовой компьютер, интегрированный с GPS приемником и радиостанцией, и сенсорный экран. Этот комплекс аппаратуры назван Mobile Data Terminal (MDT) – Мобильный Терминал Данных (МТД). Бортовой компьютер MDT является типовым напольным оборудованием и устанавливается на экскаваторах, автосамосвалах, буровых станках, бульдозерах и другом оборудовании. Имеется усовершенствованный комплект MDT3.

МТД разработан для ввода/вывода последовательных, аналоговых и цифровых данных. МТД стыкуется со всеми беспроводными коммуникационными системами, включая прямую последовательность широкого диапазона (Sequencing Spread Spectrum) 2.4 ГГц, с изменяемой частотой широкого диапазона(Frequency Hopping Spread Spectrum) для 2.4 ГГц и 900 MHz и распространенные высокие и очень высокие частоты. МТД позволяет также поддерживать «Blue Tooth» технологию.

Компания поставляет и внедряет комплекс коммуникационного оборудования для создания радио-инфраструктуры в карьере, включая оборудование ретрансляторов. В состав поставки входит также комплекс вычислительной техники.

Wenco разработала и поставляет интерфейсы для связи MDT3 с другими бортовыми системами, имеющимися на горном и транспортном оборудовании.

Передача информации осуществляется системой коммуникаций беспроводной высокоскоростной связи в полосе радиочастот 403-520MHz. Эта система осуществляет связь между мобильным оборудованием и ретранслятором. Беспроводная сеть 802.11 осуществляет связь между ретранслятором и главной вычислительной системой (хост-системой).

***Оборудование связи. Общая схема коммуникаций***

Беспроводная высокой скорости коммуникаций Wenco (см. ниже схему) представляет собой комбинацию предоставленных радиочастот в полосе 403–520 MHz, осуществляющих передачу между

мобильным оборудованием и ретранслятором, и беспроводную сеть 802.11 между ретранслятором и главной вычислительной системой (хост-системой).

Конфигурация высокой скорости сети разработана таким образом, чтобы оптимизировать связь с мобильным оборудованием. Выделенная в установленном порядке радиочастота используется с большей мощностью (с 5 до 25 Вт), чем другие беспроводные системы. Эта более высокая мощность обеспечивает лучшую возможность преодолеть «препятствия» в карьере по радиопокрытию, и практически все помехи, исходящие от электрических двигателей или каких-либо машин, на систему не влияют.

Полное дуплексирование на ретрансляторе устраняет необходимость хранения и затем передачи. Система может одновременно посылать и получать сообщения. Это поддерживает необходимую пропускную способность системы. Ретранслятор в системе Wenco оснащен различными приемниками, позволяющими выполнять прием и передачу независимо друг от друга.

Для обеспечения выполнения цикла на 100% и непрерывной передачи информации между мобильным оборудованием и ретранслятором хост-система и ретранслятор оборудованы контроллером, работающим в связи один с другим для координации передачи сообщений. Каждая единица мобильного оборудования становится IP адресом.

Звено стандарта 802.11b между ретранслятором и хост-системой, функционирующее в 1–2 Mbps, обеспечивает надежную связь и высокую готовность системы. Кроме сообщений системы, это звено передает дополнительную информацию от хост-контроллера, координируя сообщения. В АСУ ГТК используется новая модификация базовой станции GPS-Trimble AgGPS 132, созданная на основе «Choice» технологии.

Станция объединяет в одном корпусе приемник GPS сигналов, приемник поправок от маяков, а также приемник поправок от спутникового дифференциального сервиса. При этом используется одна комбинированная антенна. Такая конфигурация значительно повышает точность и надежность определения местоположения, а также упрощает реализацию дифференциального режима.

DGPS AgGPS 132 оборудована встроенным жидкокристаллическим дисплеем и клавиатурой, что обеспечивает простоту настроек и интеграции в существующие программно-аппаратные комплексы. Питание DGPS приемника осуществляется от бортовой сети питания в диапазоне от 10 до 32 В постоянного тока, кроме того, питание может осуществляться от аккумуляторных батарей. AgGPS 132 может быть легко интегрирован и настроен для работы с широким спектром оборудования.

Приемник может выдавать сообщения в формате NIMEA-0183, при этом пользователь может выбрать информацию, необходимую для решения поставленных задач (текущая позиция, скорость или текущий статус GPS наблюдений). В стандартной конфигурации скорость выдачи сообщений NIMEA-0183 составляет 1 Гц (один раз в секунду). Для приложений, требующих более высокой частоты выдачи данных, это величина может составлять 10 Гц с периодом задержки менее 100 мс (заказывается дополнительно).

Встроенный спутниковый приемник L диапазона имеет высокую чувствительность и обеспечивает уверенный прием поправок в области покрытия спутникового дифференциального сервиса.

Встроенный двухканальный цифровой приемник дифференциальных поправок от MSK маяков с низким уровнем внутренних шумов позволяет принимать сигналы от маяка на удалении в сотни километров.

Встроенный 12-канальный GPS приемник обеспечивает высокую точность определения позиции с устранением ошибок, вносимых ионосферой и тропосферой, на основе предварительно заданных моделей. Это обеспечивает субметровую точность определения текущего местоположения, а также предоставляет возможность определять текущую скорость с точностью до 0.15 км/ч, что исключает необходимость использования внешних датчиков скорости при решении многих задач.

Определение местоположения объекта осуществляется с использованием надежных методик дифференциальной обработки, что позволяет приступить к работе всего лишь через несколько секунд после включение комплекса.

Система АСУ ГТК Wenco позволяет автоматизировать следующие рабочие места:

- начальник смены рудоуправления;
- производственный отдел рудоуправления;
- бюро БВР;
- начальник смены бурового участка рудоуправления;
- начальник смены, диспетчер цеха технологического автотранспорта;
- отдел эксплуатации цеха технологического автотранспорта;
- маркшейдер;
- геологоразведочный отдел цеха проведения геологоразведочных работ в карьере;
- производственный отдел предприятия;
- директор по производству;
- технический директор.

По требованию потребителей возможно включение в этот перечень дополнительных рабочих мест. Обычно средний срок реализа-

ции проекта системы Wenco для крупного карьера составляет 36 недель. Гарантийные обязательства компании перед Заказчиком – 1 год с момента ввода в эксплуатацию. Стоимость реализации проекта подобных систем находится в пределах 1.5–2.5 млн долл.

Нужно отметить, что компания Wenco является серьезным конкурентом российским компаниям, работающим в этом же направлении.

### 2.4.6. Система диспетчеризации компании «Micromine»

Компания «Micromine Pty Ltd» является одной из ведущих мировых компаний, работающих на российском рынке в области разработки и внедрения компьютерных технологий для горной промышленности. Созданная в 1968 г. в г. Перт (Западная Австралия), она имеет свои представительства и агентства широко по всему миру: ЮАР, Индонезия, Великобритания, США, Канада, Китай, Россия, Казахстан.

Основными программными системами, разработанными в компании, являются:

**GBIS** - программная система управления базами данных, обеспечивающая проверку, хранение и доступ к цифровой информации от различных источников;

**PITRAM** – автоматизированная система управления горным производством, посредством которой ведется управление процессом добычи полезного ископаемого при помощи GPS-телеметрии или радио;

**MINREM** – система, объединяющая все компоненты программного обеспечения для управления минеральными ресурсами и всей деятельностью добывающей компании. Это единственная интегрированная система решений, представленная программным обеспечением, которая управляет критической промышленной информацией от всех отделов на участке горной добычи.

Свою деятельность в России компания MICROMINE начала в 2001 г., создав в 2002 г. в Санкт-Петербурге полноценное представительство с постоянным офисом и штатом российских специалистов. За это время появились офисы поддержки в Екатеринбурге, Иркутске и представитель в Москве.

В данном разделе подробно рассмотрена система PITRAM.

**PITRAM – это автоматизированная система управления горным производством,** предназначенная для автоматизации процесса разработки месторождений полезных ископаемых открытым и подземным способом. Система представляет собой программно-аппаратный комплекс, осуществляющий регистрацию в реальном времени всех происходящих на руднике событий, их структуризацию и занесение в базу данных (рис. 2.13).

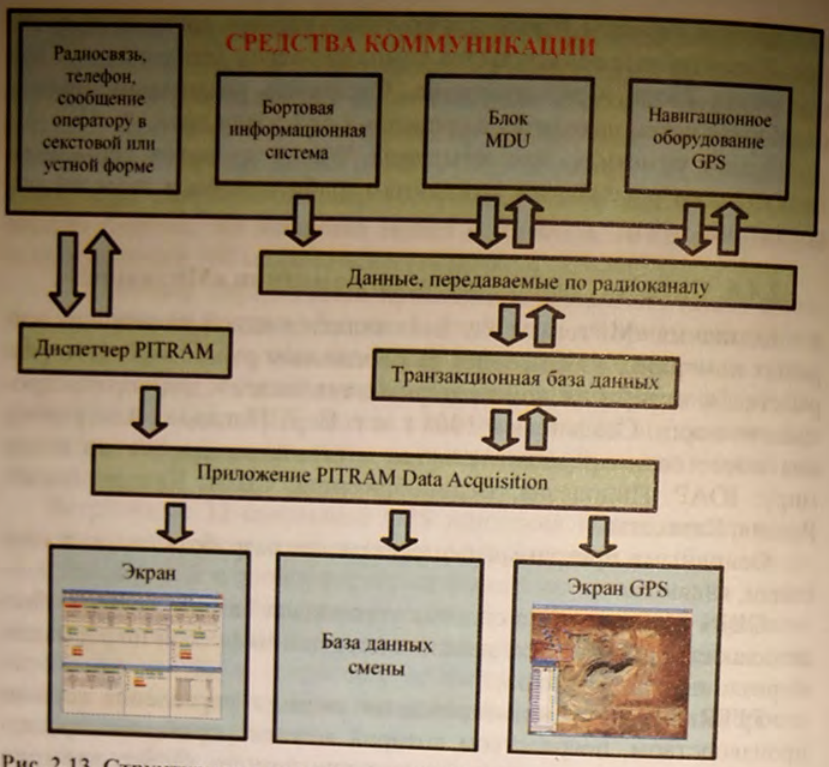



**Рис. 2.13. Структурная схема системы PITRAM Micromine Pty Ltd.**

Каждое событие автоматически записывается в базу данных рабочей смены, при этом фиксируется точное время возникновения события. Текущее состояние производства с помощью приложений PITRAM отображается на любом из компьютеров, подключенных к локальной сети предприятия. Причем, для разных служб предприятия предоставляется необходимая только для них информация.

Так, например, для начальника участка отображаются данные об объеме вскрышных пород, перевезенных за смену, количестве пробуренных метров скважин и расходе материалов. На компьютер начальника ремонтной мастерской выводится сводная таблица по оборудованию, требующему ремонта, в то время как для главного инженера выводится совокупная информация по деятельности предприятия, включая содержание полезного компонента в руде, поставляемой на обогатительную фабрику.

Регистрация событий и передача данных осуществляются либо с помощью голосовых радиостанций, либо через радиомодемы от специальных интерфейсных устройств, устанавливаемых в кабинах оборудования (рис. 2.14). В наиболее полной конфигурации системы

применяется GPS-оборудование, позволяющее автоматизировать процесс регистрации целого ряда событий, обеспечить отображение текущего расположения техники на цифровой карте местности рудника, а также автоматически формировать предупреждающие сообщения об ошибочных или несанкционированных перемещениях и разгрузках. Система предоставляет широкие возможности по созданию достоверной и своевременной отчетной документации, на основании которой руководство компании может принимать решения, позволяющие оптимизировать производственный процесс и тем самым повысить общую производительность предприятия.

Система PITRAM позволяет объединить отдельные горные участки предприятия в единую систему мониторинга и контроля. Система голосовой радиосвязи может быть легко модернизирована до GPS и полностью автоматизированного бортового интерфейса (Onboard System Interface).

АСУ ГП PITRAM состоит из программного обеспечения, работающего на платформе Microsoft Windows, и современного аппаратного оборудования (рис. 2.14):

- сокращения простоев оборудования во время пересмен;
- повышения уровня организации труда операторов экскаваторов и автосамосвалов на основе полной и достоверной информации о времени работы и простоях, времени технологических циклов, что позволит производить всесторонний анализ и сопоставления;
- контроля недогруза и перегруза автосамосвалов;
- повышения качества добываемой продукции за счет управления, качеством грузопотоков (включая усреднение по нескольким показателям);
- контроля уровня остатков топлива в автосамосвалах, уменьшая тем самым общее время на перезаправки;

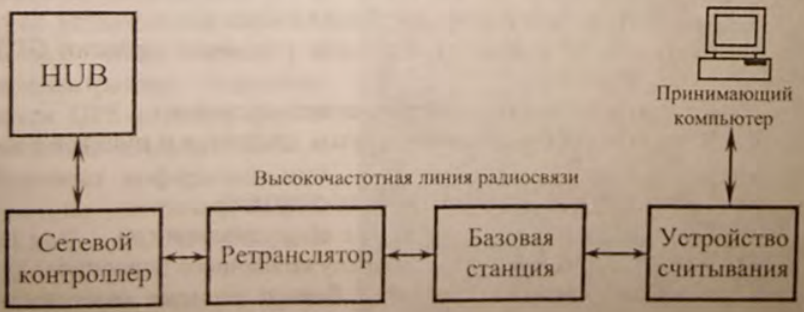



**Рис. 2.14. Схема движения потока данных.**
Каждый HUB имеет три канала передачи данных. По каналу А происходит прием данных, по каналу В – передача данных. По каналу данных происходит передача данных GPS.

• мониторинга загруженности приемных складов горной массы;
• контроля и устранения ошибок операторов автосамосвалов и экскаваторов.

***Состав системы***

Программное обеспечение АСУП PITRAM включает:
• приложение Data Acquisition (Сбор и управление данными);
• приложение Reporting. (Создание отчетов);
• модуль Grade Control (Контроль качества);
• PITRAM Viewer (Приложение просмотра).

Аппаратная часть системы:
• интерфейсный модуль MDU (Mobile Display Unit);
• концентратор (Hub), состоящий в свою очередь из:
  – GPS-приемника;
  – радиомодема;
  – контроллер управления и синхронизации;
  – плату интерфейса Com портов;
• GPS-антенна;
• радио-антенна;
• базовая станция;
• ретрансляторы.

Базовая комплектация автоматизированной системы управления горным производством PITRAM предусматривает выполнение следующих функций.

1. Автоматический сбор информации в режиме реального времени с оборудования.
2. Управление оборудованием в режиме реального времени Data Acquisition.
3. Автоматическое диспетчерирование.
4. Управление качеством добываемой и перевозимой горной массы Grade Control.
5. Контроль и мониторинг состояния складов.
6. Ведение карты карьера в режиме реального времени GPS Viewer.
7. Контроль скорости движения автосамосвалов.
8. Контроль соблюдения маршрутов движения и пунктов разгрузки.
9. Менеджер контроля нештатных ситуаций.
10. Сбор измеряемых параметров с оборудования.
11. Учет и мониторинг работы обслуживающего персонала.
12. Накопительная историческая база и система отчетности Pitram Reporting.
13. Мониторинг технического состояния оборудования и его ремонтов (плановых и внеплановых).
14. Мониторинг заправок и расхода ГСМ.

15. Контроль загрузки автосамосвалов.

16. Оптимизация производства на основе подробной базы отчетности PITRA.

На каждую единицу горного оборудования устанавливается комплект бортового оборудования, в состав которого входит:

- интерфейсный модуль MDU (Mobile Display Unit);
- бортовой контроллер (HUB), состоящий в свою очередь из:
  - GPS-приемника;
  - радиомодема;
  - устройства управления и синхронизации;
- GPS-антенна;
- радио-антенна.

Интерфейсный модуль MDU (рис. 2.15) представляет собой выполненный в едином конструктиве графический дисплей и клавиатуру. Модуль предназначен для установки в кабинах любых видов оборудования и используется оператором для ввода различной информации, которая в дальнейшем передается в диспетчерский пункт. На дисплей MDU также выводится управляющая информация, передаваемая от диспетчера PITRAM.



**Рис. 2.15. Интерфейсный модуль MDU.**

Бортовой контроллер (HUB) (рис. 2.16) представляет собой электронное приемо-передающее устройство, функционально объединяющее в себе GPS-приемник, радиомодем и устройство синхронизации/управления, который устанавливается в кабинах оборудования. К концентратору подключаются GPS-антенна, радиоантенна, модуль MDU и бортовая информационная система (например, VIMS, PLM-2, DDEC IV или STATEX).



**Рис. 2.16. Бортовой контроллер.**

Базовая станция представляет собой блок сбора приема и передачи данных мобильной технике и мачту с установленной на ней



5 Зак. № 4488




**Рис. 2.17. Базовая станция.**

радиоантенной и электронным блоком управления/сопряжения (рис. 2.17). Базовая станция предназначена для обмена данными с оборудованием (обмен ведется непосредственно между радиомодемом базовой станции и радиомодемами оборудования). Радиомодем базовой станции с помощью блока управления/сопряжения соединяется с компьютером диспетчера, на котором установлено приложение Data Acquisition.

Подводя итог современному состоянию уровня автоматизированной диспетчеризации горных предприятий следует отметить, что для подземных рудников России и стран ближнего зарубежья число реализованных систем невелико, однако эта тема с каждым годом становится все более актуальной, особенно с переходом предприятий с открытым способом добычи на комбинированную систему разработки месторождения.

Для предприятий с открытым способом добычи в России, СНГ и ближнем зарубежье уже реализованы десятки проектов систем управления с использованием технологии спутниковой навигации.

Лидером по числу внедрений является компания «ВИСТ Групп», разработавшая к 1999 г. собственную систему «КАРЬЕР».

Отличия системы «КАРЬЕР» от систем диспетчеризации других компаний, обеспечившие успех ее продвижения на отечественном рынке сводятся к следующему:

1. «ВИСТ Групп» единственная компания, поставляющая компоненты диспетчерской системы для оснащения наиболее широко применяемых на карьерах России самосвалов БелАЗ штатно;

• система контроля загрузки, разработанная «ВИСТ Групп» по заданию ПО «БелАЗ», установлена непосредственно на заводе уже на более чем 2000 самосвалов разных марок. Причем, бортовой контроллер, применяемый в системе СКЗиТ, служит также в качестве бортового контроллера в системе «КАРЬЕР»;

• «ВИСТ Групп» штатно поставляет ПО «БелАЗ» для установки на самосвалы систему управления тяговым электроприводом СУТЭП, которой сейчас комплектуются все самосвалы с электротрансмиссией;

• «ВИСТ Групп» разработан контроллер и программное обеспечение по управлению гидромеханической коробкой передач для самосвалов БелАЗ-7555. Несколько самосвалов с данным контроллером, установленным также непосредственно на заводе, прошли испытания у заказчиков;

• «ВИСТ Групп» при необходимости самостоятельно разрабатывает и устанавливает датчики. Например, позволяющие контролировать уровень топлива. Зарубежные системы используют интерфейсы с установленными контроллерами;

• все поставляемые системы для самосвалов могут легко интегрироваться между собой. Т.е. бортовой контролер системы «КАРЬЕР» может получать диагностическую информацию от других систем и при необходимости пересылать ее в диспетчерский центр.

2. Система «КАРЬЕР» изначально проектировалась для применения в Российских условиях:

• в системе есть средства, позволяющие применять ее в условиях сопротивления со стороны персонала, работу которого она контролирует. Система включает средства избыточной защиты и самодиагностики. Например, даже при умышленном повреждении контроллера высоким напряжением, есть возможность считать данные журнала, которые позволяют, как правило, установить ответственных лиц;

• программное обеспечение адаптировано к принятым системам нормирования и учета. Подбор оборудования для передачи данных основан на сертифицированном в России оборудовании и требованиях законодательства;

• имеются средства определения расхода топлива, включающие алгоритмы контроля несанкционированного слива.

3. Система «КАРЬЕР» создавалась позже развитых зарубежных систем и опирается на самые передовые средства разработки. Это позволяет гораздо быстрее модифицировать систему под нужды конкретного заказчика.

4. Система «КАРЬЕР» – единственная система, одобренная Ростехнадзором РФ для применения на российских предприятиях.

# 3. ФОРМИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

## 3.1. Особенности развития открытых горных работ на современном этапе

Открытый способ разработки является генеральным направлением горнодобывающих отраслей в мире, в частности, в России и странах СНГ. Удельный вес открытого способа добычи полезных ископаемых за последние десятилетия в СНГ достиг высокого уровня, в среднем около 75 %, и по прогнозам, будет долго сохраняться на этом уровне. Так, еще в 2004 г. добыча угля открытым способом составила 64.1 %, открытый способ добычи железной руды за последние 10 лет превысил 93 %, цветных металлов – 62 %, горно-химического сырья – 55 %, строительного сырья – 99 %. Высокий удельный вес открытого способа определяется его преимуществами перед подземным способом: производительность труда выше в 3–4 раза по рудным карьерам и в 10–11 раз по угольным, себестоимость продукции ниже в 3–4 раза, сроки строительства предприятий сокращаются в 2–3 раза, потери ископаемых в недрах меньше на 1–5% [34].

Доля технологического автотранспорта в перевозках горной массы в карьерах достаточно велика – порядка 75 % в странах СНГ при среднем мировом показателе 80 % (в США, Канаде и Южной Америке – 85 %, в Южной Африке – 90 %, в Австралии – 100 %) [15]. Прогнозируется увеличение доли карьерного автотранспорта в основном за счет расширения открытого способа добычи угля. На увеличение доли автотранспорта влияет увеличение глубины карьеров до 300–500 м и более и связанные с этим трудности подведения технологических железнодорожных путей, ленточных конвейеров и подъемников близко к забоям. Но это же обстоятельство становится и сдерживающим фактором, отражающимся на снижении производительности технологического автотранспорта: происходит более быстрая выработка рабочего ресурса самосвалов, требующая увеличения затрат на запасные части и их замену (затраты на автотранспорт увеличиваются до 55–60 % от себестоимости добычи), ухудшается экологическая обстановка (загазованность), что приводит к вынужденным простоям (до 1500 ч в год на одном карьере).

Влияние этих разносторонних факторов требует их тщательного учета при планировании развития горнодобывающих предприятий и даже при разработке рабочих прогнозов и сменно-суточных заданий. Современный период характеризуется переходом от плановых к рыночным экономическим условиям, результатом чего стало появление новых факторов: резкое возрастание, с одной стороны, потребности в минеральном сырье, определяемой ростом мирового спроса, с другой – рост цен на различные виды сырья, связанный с упомянутым резким увеличением глубины карьеров и расстояния транспортирования, усложнением геологических и географических условий промышленной разработки.

Правильно учесть эти тенденции возможно только при значительном повышении производительности значительного парка оборудования и снижении себестоимости товарной продукции при условии скорейшего повышения эффективности управления производственной деятельностью горнодобывающих предприятий. В этой связи на передний край выдвигается внедрение таких АСУ, как системы автоматизированного управления горно-транспортными комплексами.

Давно освоенный и повсеместно применяющийся метод повышения эффективности управления транспортным оборудованием по принципу сетевого планирования транспортных потоков не учитывает в реальном времени изменчивость условий добычи и транспортировки горной массы, состояние транспортных средств и изменение их технических характеристик в течение относительно короткого времени (смены, суток). Это не позволяет оперативно реагировать на изменяющуюся горно-транспортную обстановку.

До последнего времени горно-добывающая промышленность тратила на программные средства автоматизации всего порядка 1 % своего бюджета, причем, в основном не на внедрение АСУ. Это значительно меньше, чем в других областях тяжелой промышленности. Только в настоящее время наметились тенденции к увеличению инвестиций в АСУ, в том числе в автоматизированную систему управления ГТК.

В то же время сроки окупаемости инвестиций, вложенных во внедрение АСУ ГТК, составляют всего несколько месяцев (от 2–3 месяцев до максимум 1–1.5 лет). При этом повышение производительности предприятия (оборудования и труда) может составлять 15–20 % и более, в зависимости от внедряемой системы, степени ее освоения персоналом, количества и состава мобильных объектов и других конкретных условий предприятия.

## 3.2. Назначение и цель создания АСУ горно-транспортного комплекса

### 3.2.1. Цель создания АСУ ГТК

Основной технико-экономической проблемой добычи и транспортировки горной массы на предприятиях, применяющих открытый способ добычи полезных ископаемых, является увеличение производительности добычного и транспортного оборудования наряду со снижением сопутствующих экономических потерь. На современном этапе указанные задачи можно решить только путем оптимизации управления технологическими процессами добычи и транспортировки на основе комплексной автоматизации управления этими процессами.

Внедрение в эксплуатацию на предприятиях автоматизированной системы управления горно-транспортным комплексом (АСУ ГТК) направлено на кардинальное решение указанной проблемы.

Горные компьютерные технологии, в частности, АСУ ГТК, позволяют решать эти задачи путем обеспечения:

- повышения оперативности и полноты использования геологической, экономической и экологической информации;
- осуществления в реальном времени мониторинга технологических процессов и технического состояния объектов;
- принятия в реальном времени управленческих, проектных и плановых решений.

При этом значительная часть информации, получаемой в процессе выполнения геологоразведочных, технологических, транспортных и других циклов производства, привязывается к конкретным пространственным координатам горного предприятия.

### 3.2.2. Назначение АСУ ГТК

АСУ ГТК предназначена для автоматизированного управления горно-транспортным комплексом. Объектами управления являются мобильные объекты (МО) ГТК, а именно:

- буровые станки,
- зарядные машины,
- выемочно-погрузочное оборудование (экскаваторы, бульдозеры в забоях, погрузчики),
- технологический автотранспорт (в основном автосамосвалы разных марок и грузоподъемности),
- технологический железнодорожный транспорт,
- автозаправщики,

• бульдозеры, скреперы, грейдеры и другие дорожно-строительные машины,

• хозяйственные и вспомогательные автотракторные средства.

АСУ ГТК должна обеспечивать эффективное решение прикладных задач диспетчерского управления мобильными объектами ГТК и инженерного надзора, а именно:

• управление объемом и качеством (усреднением) добычи руд и других полезных ископаемых, производством вскрышных работ;

• рациональное использование фонда рабочего времени и номинальной производительности машин и механизмов;

• контроль (мониторинг) выполнения технологических операций и норм эксплуатации машин и механизмов;

• контроль выполнения проектов и планов горных и буровзрывных работ;

• управление буровзрывными работами;

• организация планомерного ремонта и обслуживания горнотранспортного оборудования и автомобильных дорог.

Внедрение АСУ ГТК осуществляется, как правило, в три этапа.

1. Реализуется управление экскаваторно-автомобильным комплексом – экскаваторами, автосамосвалами и топливозаправщиками. На этом этапе создается также базовая составляющая системы – диспетчерский центр (далее – ДЦ), который обеспечивает автоматизированную диспетчеризацию мобильных объектов (МО), включаемых в систему на этом и последующих этапах.

2. Реализуется управление железнодорожным комплексом, состоящим из парка тепловозов, электровозов и вспомогательной техники. На этом этапе также создаются или подвергаются коренной модернизации автоматизированные диспетчерские пункты станций (постов) на основе микропроцессорной системы управления (МСУ) и по мере готовности включаются в состав АСУ ГТК – комплексной системы управления всем горно-транспортным комплексом предприятия.

3. Реализуется управление работой бурового и вспомогательного оборудования – буровыми станками, бульдозерами, тракторами, грейдерами и т. п.

В результате внедрения АСУ ГТК позволяет более эффективно решать задачи оперативного управления работой карьера, в том числе задачи оптимизации грузопотоков, поддержания требуемого содержания полезных компонентов в руде на складах, а также управления заправками. Кроме того, такая система позволяет обеспечить возможность объективной оценки деятельности служб и участков предприятия, повысить трудовую и технологическую дисциплину персонала.

### 3.3.1. Общие требования

АСУ ГТК должна отвечать следующим общим требованиям:

- обеспечивать надежную, непрерывную работу диспетчерского и инженерно-технического персонала;
- иметь построение, исходящее из принципов открытости и унификации интерфейсов;
- обеспечивать доступ пользователей только к тем данным, которые необходимы им для выполнения своих служебных обязанностей, т.е. предусматривать разграничение доступа к информации на основе ролей и прав пользователей);
- обеспечивать безусловную сохранность и восстановление введенных в систему данных, в том числе и при аварийном отключении питания;
- иметь русифицированный интерфейс для работы пользователей в системе;
- обеспечивать максимальные простоту и удобство пользования.

### 3.3.2. Функциональные требования к системе

Кроме общих требований, изложенных выше, функции АСУ ГТК должны соответствовать качественным требованиям, предъявляемым к таким системам управления, а именно:

- обеспечивать в режиме реального времени определение координат (позиционирование) МО, например, при помощи глобальной системы спутникового позиционирования (GPS – Global Positioning System), и использовать эти данные для решения задач автоматизации диспетчерирования МО; при определении координат МО предусматривать сложные и меняющиеся условия распространения радиоволн и видимости спутников;
- от каждого МО, включенного в систему, в режиме real-time получать исчерпывающую информацию о местоположении, направлении и скорости движения, виде работы (движение с грузом, движение без груза, погрузка, остановка, простой и т. д.), типе и массе (объеме) груза;
- получать и обрабатывать телеметрическую информацию о текущем состоянии технических средств; с этой целью система должна иметь систему мониторинга состояния оборудования и выполняемых им операций применительно к буровым станкам, зарядным машинам, экскаваторам, автомобилям, бульдозерам и другому мобильному оборудованию ГТК российского и белорусского про-

изводства (в основном, большегрузным автосамосвалам марки БелАЗ, составляющим 33 % мирового рынка карьерных самосвалов [15]), а также машин производства зарубежных концернов, использующимся или планируемому к использованию на конкретном предприятии – таких фирм, как Komatsu Mining System (KMS), Euclid-Hitachi, Caterpillar, Liebherr, Terex, Kress и др.;

• обеспечивать автоматизированный режим комплексного управления объектами ГТК, применяя оптимизирующие алгоритмы на основе руководящей информации (планов, сменно-суточных заданий) и с учетом изменяющейся обстановки, получаемой в режиме real-time от телеметрической аппаратуры системы и от водителей, машинистов, диспетчеров, сменных мастеров;

• проводить автоматический мониторинг хода выполнения заданной работы и ее результатов с ведением статистического учета для последующего анализа причин отклонений и невыполнений заданий, а также для выявления резервов повышения производительности;

• определять в режиме real-time недогруз/перегруз транспортирующих объектов (автосамосвалов, думпкаров), нарушение скоростного режима и другие нарушения, а также аварийные ситуации с выдачей соответствующих сигналов водителю (машинисту) и на пульт диспетчера;

• производить непрерывный контроль расходования топлива и электроэнергии мобильными объектами;

• иметь устойчивость к вредным факторам воздействия специфических промышленных условий эксплуатации;

• иметь автоматический и автоматизированный интерфейс с действующей системой автоматизированного планирования и проектирования горных работ, компьютерной системой геолого-маркшейдерского обслуживания, информационно-управляющей системой управления железнодорожным транспортом и т. п.;

• предоставлять возможность настраивать интеграционный интерфейс по логике и данным при использовании и развитии сопрягаемых с ГТК информационно-вычислительных и управляющих комплексов предприятия, особенно составляющих АСУТП и АСУП;

• в качестве цифровой основы геологического строения использовать блочную модель месторождения, полученную при помощи горно-геологических геоинформационных систем, однако иметь возможность полнофункционально работать без цифровой модели, по введенной информации;

• для железорудных добывающих предприятий – обеспечивать шихтоподготовку (усреднение шихты) на раннем этапе транспортировки сырья, подлежащего обогащению, от забоев до перегрузочных складов путем оптимизирующего перераспределения транспортных средств между точками загрузки и выгрузки на ос-

нове имеющихся данных о качестве руды, перевозимой каждым транспортным средством за рейс;

• вести учет регламента техобслуживания (ТО-1, ТО-2, ТО-3), ремонтов (Р) и замены агрегатов с ведением складского учета и с автоматической выдачей прогнозов по расходованию запчастей и шин, наличию тех или иных узлов на складах, а также рекомендаций по проведению капремонтов узлов с учетом изменения их ресурса.

## 3.4. Структура и состав систем управления ГТК

Как было указано в разделе 2.2, по степени автоматизации принято разделять АСУ на три основных типа:

• системы с «ручным режимом» – системы, предоставляющие всю необходимую информацию о технологических параметрах производимых работ и техническом состоянии объектов, на основе которой решение принимает человек. В таких системах велика роль «человеческого фактора», так как при принятии решения возможны ошибки;

• системы с «режимом советчика» – системы, не только снимающие информацию с датчиков, но и обрабатывающие ее для выдачи оператору (диспетчеру) одного оптимального варианта или нескольких вариантов решения на выбор;

• системы с «диалоговым режимом» – системы, имеющие те же возможности, что и системы с «режимом советчика», но работающие по принципу заранее заданных критериев (условий), которые диспетчер может в реальном времени изменять в зависимости от обстановки.

Последнее поколение АСУ ГТК (например, система «КАРЬЕР» разработки компании «ВИСТ Групп»), как правило, содержит средства оптимизации процессов, которые имеют, кроме «режима советчика», полностью автоматический режим, допускаемый для тех или иных операций на основе заданных критериев оптимизации и весовых коэффициентов этих критериев. В этом режиме диспетчер только отслеживает результаты принятых системой решений, но может при необходимости и вмешиваться в управление.

Системы с возможностью оптимизации параметров погрузочно-транспортного процесса могут применяться только при открытом цикле, то есть при динамическом определении маршрутов автосамосвалов.

Рассмотрим основные принципы построения систем типа АСУ ГТК на примере отечественной системы диспетчеризации «КАРЬЕР» разработки ООО «ВИСТ Групп».

### 3.4.1. Информационные связи в системе (рис. 3.1)

**Источники информации:**

- датчики местоположения, скорости, курса машин (GPS);
- датчики определения загрузки машин;
- датчики определения уровня топлива;
- актуальная цифровая модель горных работ карьера, необходимая:
  - как фон для отображения положения и состояния машин на экране мониторов рабочих мест конечных пользователей системы в нужном масштабе;
  - как основа решения расчетных задач, учитывающих геометрию и топологию карьерных дорог и других элементов горных работ.
- информация базы данных предприятия.

**Потребители информации:**

- диспетчерский центр предприятия, а также различные пользователи в локальной сети предприятия – информация о текущем состоянии и положении машин;




**Рис. 3.1. Взаимосвязь частей Системы.**

• другие инженерные службы предприятия – статистика, описывающая реальный режим работы оборудования, имевшие место простои, пробег машин, объемы перевезенного груза.

**Каналы передачи информации:**

• передача данных по радиосвязи при помощи системы TETRA (возможны альтернативные варианты);

• локальная вычислительная сеть Ethernet для связи с сервером баз данных предприятия и связи между элементами компьютерного оборудования диспетчерского центра.

Обмен данными между диспетчерским центром и мобильными объектами осуществляется с помощью систем связи. Данные о местоположении и состоянии машины собираются и накапливаются в ее бортовом контроллере. На основе этой информации бортовой контроллер определяет первичные события, происходящие с мобильным объектом (для самосвала это погрузка, разгрузка, заправка, остановка и т. д.). Информация о событиях вместе с оперативной информацией автоматически передается в диспетчерский центр.

В диспетчерском центре информация бортовых контроллеров обрабатывается, архивируется и визуализируется на экране диспетчера в виде условных значков, наложенных на актуальный план горных работ предприятием. Данные бортовых контроллеров дополняются новой информацией (например, для рейса самосвала определяются экскаватор, пункт разгрузки, вид груза и другие характеристики), а также фиксируются вторичные события (например, длительный простой без уважительной причины). В результате обработки и анализа накопленных данных производится автоматическое составление отчетных документов о работе предприятия, его участков, отдельных машин, персонала.

Обработанные данные используются также и программными компонентами, предназначенными для автоматического управления объектами диспетчеризации, такими как, например, модуль оптимизации ***SmartTruck*** и модуль управления заправками ***RefuelManager*** (см. п. 3.8.).

### 3.4.2. Состав оборудования мобильного объекта

Контролируемые машины оснащаются следующим базовым комплектом бортового оборудования (рис. 3.2):

• радиостанция для работы в системе TETRA с антенной;

• бортовой контроллер со встроенным приемником GPS (датчик местоположения, курса и скорости машины), встроенными датчиками загрузки и жидкокристаллическим дисплеем;

• GPS антенна.




**Рис. 3.2. Оборудование мобильных объектов.**

*Радиостанция* предназначена для обмена цифровой информацией в системе TETRA между машиной и радиостанцией, установленной на диспетчерском пункте. Радиостанция подключается к бортовому контроллеру.

*Бортовой контроллер* предназначен для управления работой бортового комплекта аппаратуры и осуществляет следующие функции:

- съем информации с датчиков состояния машины и датчика местоположения;
- передача на датчик местоположения данных для дифференциальной коррекции, полученных с диспетчерского центра;
- управление работой радиостанции;
- автоматическое включение аппаратуры при включении зажигания;
- подготовка и передача информации в диспетчерский центр.

В Системе для установки на мобильные объекты используется бортовой контроллер разработки ООО «ВИСТ Групп», который в настоящее время штатно устанавливается ПО «БелАЗ» на большегрузные самосвалы. Контроллер имеет восемь дискретных и восемь аналоговых входов, оснащен текстовым жидкокристаллическим терминалом, имеет защищенное исполнение корпуса и разъемы для подключения внешних устройств.

В качестве датчика местоположения использован навигационный GPS приемник, встроенный в бортовой контроллер и осуществляющий определение координат с точностью 2–5 метров (в дифференциальном режиме), скорости и курса мобильного объекта по сигналам спутников NAVSTAR. Для работы GPS приемника на машине устанавливается GPS антенна.

Набор дополнительных датчиков, устанавливаемых на каждую из машин, позволяет осуществлять автоматический контроль ее состояния.

Ресурсы центрального процессора (быстродействие, объем памяти) позволяют наращивать систему до полного диагностического

комплекса определения состояния мобильного объекта. Полный диагностический комплекс определяет техническое состояние всех основных групп оборудования автосамосвала (с последующей передачей данных на диспетчерский пункт):

- дизеля и его систем;
- электрического привода;
- низковольтного оборудования (аккумулятора, реле-регулятора, датчиков реле, сигнальных лампочек).

### 3.4.3. Коммуникационная подсистема

В качестве коммуникационной подсистемы в предлагаемом варианте используется транкинговая система TETRA. Система позволяет осуществлять передачу цифровой информации между мобильными объектами и диспетчерским центром. К ее достоинствам можно отнести:

- высокий уровень сервисов по передаче цифровой информации;
- возможность ее произвольного масштабирования;
- возможность использования для голосовой связи.

Возможно использование и других систем передачи данных, обеспечивающих требуемую пропускную способность радиоканала и достаточное радио-покрытие карьера, например система передачи данных с цикличным опросом мобильных объектов с выделением в каждом цикле опроса каждому мобильному объекту отдельного временного слота для передачи данных.

### 3.4.4. Серверы системы и рабочие станции

Сервер диспетчерской системы является ее ключевым элементом. На сервере осуществляется оперативная автоматическая обработка информации, работа базы данных системы, хранятся файлы, определяющие пользовательский интерфейс (см. раздел *Программное обеспечение системы*).

Сервер связан с рабочими местами пользователей (рабочими станциями) с помощью локальной сети.

Для обеспечения абсолютной надежности оборудования применяется кластерная архитектура с использованием второго дублирующего сервера. Каждая операция с базой данных системы выполняется одновременно на обоих серверах. В случае выхода из строя одного из серверов (любого!) второй продолжает работать, и отказ первого сервера никак не отражается на пользователях системы. После восстановления работоспособности первого сервера его состояние (в том числе содержимое базы данных) формируется с помощью специальных утилит по состоянию второго сервера.

### 3.4.5. Программное обеспечение системы

Программное обеспечение системы ориентировано на постоянное развитие в соответствии с изменяющимися требованиями предприятия-заказчика.

Разработка ПО возможна:

- специалистами «ВИСТ Групп»;
- специалистами предприятия-заказчика.

Во втором случае специалисты предприятия-заказчика могут не только добавлять новые функции в систему, обладая теми же возможностями, что и специалисты «ВИСТ Групп», но и изменять базовое функции. Это достигается специальной архитектурой ПО.

Каждая функция, связанная с обработкой информацией в реальном режиме времени, реализуется одним .NET-компонентом (UMP-компонентом, реализованном в dll-файле). Для взаимодействия компонентов используется технология UMP.Framework.

Каждая функция, связанная с работой пользователя с данными в базе данных, реализуется одним xrtl-файлом (xml-файлом), включающим описание оконных элементов управления, запросов к базе данных и их взаимосвязи. Для работы пользователя с системой, описанной xrtl-файлом, используется программный продукт Xrtl Explorer.

Отметим, что написание .NET-компонентов для UMP.Framework достаточно просто. Кроме того, легко организовать тестовое использование таких компонентов для проверки правильности их работы, не изменяя штатной работы системы.

Написание xrtl-файлов вообще не требует знания языков программирования.

Кроме того, UMP-компоненты и xrtl-файлы легко распространять и устанавливать. Например, новый файл (файлы) можно переслать по почте и скопировать в специальные каталоги на сервере. Никакой работы по установке и конфигурированию ПО на компьютерах пользователей не требуется.

#### Встраиваемые отчеты Crystal Reports

Отчеты Crystal Reports могут быть использованы не только из среды Crystal Reports, но и из Xrtl Explorer. Во втором случае каждый отчет связывается с окном в Xrtl Explorer, построенном по xrtl-файлу, и может использовать SQL-запросы из xrtl-файлов, не требуя повторного запроса параметров и данных для подключения к базе данных. Отчет выводится на печать или для предварительного просмотра по кнопкам *Печать* или *Предварительный просмотр* в Xrtl Explorer.

Для отчетов доступен экспорт в MS Word, MS Excell, Adobe PDF и другие форматы.

Таким образом, система АСУ ГТК «КАРЬЕР» обеспечивает:

- надежную непрерывную работу диспетчерского и инженерно-технического персонала, осуществляющего автоматизированный мониторинг в режиме реального времени местоположения объекта, выполнения операций и сменных заданий мобильными объектами, занятыми на производстве;
- централизацию и оперативность управления работой большегрузных автосамосвалов и других мобильных объектов, автоматизированную оптимизацию маршрутов в зависимости от заданий и изменяющейся обстановки (поломки и другие вынужденные простои автосамосвалов или экскаваторов и изменения заданий по другим причинам);
- ведение статистической информации и обеспечение оперативной отчетности встроенными средствами системы и предоставление пользователям инструментария для генерации собственных отчетов;
- доступ пользователей только к тем данным, которые необходимы им для выполнения своих служебных обязанностей (разграничение доступа к информации и операциям);
- возможность сохранения и восстановления всех введенных в систему данных, в том числе и при аварийном отключении питания.

Для определения в реальном времени положения (а значит, направления движения, скорости и вида работы) мобильного объекта в системе «КАРЬЕР» используется спутниковое определение координат с применением приемников глобальной системы позиционирования GPS.

Автоматизированная система управления «КАРЬЕР» использует известные технологии – такие, как Oracle, Map Objects, Crystal Reports и другие. Система предназначена для непрерывной работы в соответствии с требованиями, предъявляемыми к подобным системам, что подтверждается Разрешением Федеральной службы Российской Федерации по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) на использование системы «КАРЬЕР» на горных предприятиях.

Принципы построения системы позволяют расширять ее функциональность, добавляя новые модули, алгоритмы обработки, формы ввода и отчеты *без перекомпиляции* уже работающих модулей. Причем расширение системы может выполняться как компанией «ВИСТ Групп» по заказу, так и специалистами предприятия-заказчика своими силами.

Программное обеспечение системы позволяет создавать множество рабочих мест пользователей, назначая им определенные права по использованию данных (разграничение доступа), исходя из ролевых функций.

Архивирование информации производится автоматически или по команде администратора. Система имеет средства защиты от кратковременного отключения питания. В случае длительного, многочасового отключения система корректно завершает работу автоматически, а при включении питания автоматически восстанавливает свою работу.

Система «КАРЬЕР» имеет русскоязычный интерфейс пользователя и документацию. Система отвечает требованиям и специфике российских предприятий.

Программно-аппаратный комплекс системы диспетчеризации состоит из:

- диспетчерского центра (далее: ДЦ), включающего навигационное и радиооборудование, серверы и программное обеспечение;
- бортового оборудования, устанавливаемого на мобильных объектах.

ДЦ системы состоит из радио-навигационного (РНК) и информационно-вычислительного (ИВК) комплексов. Предусматривается техническое исполнение с размещением обоих комплексов в одном корпусе и исполнение в разных корпусах (стойках), позволяющее применять территориальное разнесение комплексов со связью по оптоволоконным каналам ЛВС. В первом случае весь ДЦ устанавливается на борту карьера, в условиях наилучшей радиовидимости мобильных объектов, включенных в систему. Во втором случае на борту, например, в пункте горного диспетчера, устанавливается только радио-навигационная часть ДЦ, а стойка информационно-вычислительного комплекса, содержащая рабочую базу данных и программное обеспечение системы, располагается в «серверной», т. е. в условиях, наиболее благоприятных для обслуживания специалистами подразделения АСУ (именно второе исполнение представлено на рис. 3.1).

Обмен данными между ДЦ и мобильными объектами осуществляется с помощью радиосвязи на УКВ частотах 400–470 МГц, но может быть организован на основе систем связи TETRA, MESH и др.

Данные о местоположении и состоянии машины собираются и накапливаются в ее бортовом контроллере. На основе этой информации бортовой контроллер определяет первичные события, происходящие с мобильным объектом Для самосвала это погрузка, разгрузка, заправка, остановка и пр. Информация о событиях вместе с оперативной информацией автоматически передается в ДЦ (непосредственно принимается радио-навигационным комплексом и передается в информационно-вычислительный комплекс).

В ДЦ информация бортовых контроллеров обрабатывается, архивируется и визуализируется на экранах диспетчера и других спе-

циалистов в виде условных значков, наложенных на актуальный план горных работ предприятия. Данные бортовых контроллеров дополняются новой информацией, например, для рейса самосвала определяются экскаватор, пункт разгрузки, вид груза и другие характеристики, а также фиксируются вторичные события (например, длительный простой без уважительной причины). В результате обработки и анализа накопленных данных производится автоматическое составление отчетных документов о работе предприятия, его участков, отдельных машин, персонала.

Обработанные данные используются также и программными компонентами, предназначенными для автоматического управления объектами диспетчеризации, такими как:

- модуль оптимизации, осуществляющий управление работой самосвалов и экскаваторов в соответствии с заданными критериями (алгоритмами), в том числе для обеспечения поддержания заданного качества руды на пунктах разгрузки;
- модуль управления заправками, формирующий указания водителям самосвалов для подъезда на заправку в течение смены.

Для пользователей также доступны модули, осуществляющие:

- контроль в режиме реального времени состояния объектов (самосвалов, экскаваторов, локомотивов, составов, пунктов разгрузки) с помощью различных представлений (на карте, в табличном виде, в виде диаграмм и графиков);
- анализ работы карьера;
- настройку работы системы;
- другие функции (см. подраздел 3.8).

## 3.5. Системы передачи данных, пространственной идентификации и позиционирования объектов

### 3.5.1. Системы передачи данных

На определенном этапе развития горно-транспортных комплексов большое распространение получили портативные радиостанции, которыми оснащаются для связи с диспетчерами водители автосамосвалов, машинисты железнодорожных локомотивов, экскаваторов и других технических средств, работающих на выемке и транспортировке горной массы. При этом количество средств голосовой радиосвязи настолько увеличилось, что из-за перегруженности эфира зачастую трудно выделить нужное сообщение. Кроме того, при передаче распоряжений и отчете об их выполнении воз-

можны неточности и искажения, зависящие от конкретных речевых особенностей человека и субъективной оценки им обстановки («человеческий фактор»), которые могут привести к серьезным негативным последствиям как в смысле организации производственных процессов, так и в смысле соблюдения мер безопасности. Используются также световые сигналы: светофоры на железной дороге и на участках автодорог, бортовая световая индикация, например, индикаторы степени загрузки автосамосвала экскаватором.

При внедрении АСУ ГТК основную функцию связи выполняет система цифровой радиосвязи. Средства голосовой радиосвязи при этом могут быть оставлены как привычные для персонала, но, во всяком случае, они более не являются основными. Система цифровой радиосвязи предназначена для обмена телеметрической информацией между мобильными объектами, оснащенными бортовыми комплектами диспетчерской системы управления, и диспетчерским центром (ДЦ). Зона уверенной радиосвязи определяет территорию обслуживания АСУ ГТК.

Классическая система цифровой радиосвязи реализуется на двух или более симплексных частотных каналах в диапазоне 403-470 МГц с шириной канала 25 КГц. Обмен информацией между мобильными объектами (МО) АСУ ГТК производится по радиоканалам, а с пользователями ПК – по вычислительной сети (ЛВС) предприятия, в том числе может быть применена связь по radio-ethernet.

Радиосвязное оборудование (радиостанция, конвертер, антенна УКВ) предназначены для организации телеметрического канала с диспетчерским центром (ДЦ), в состав которого входит радионавигационный комплекс (РНК) или радиоцентр (РЦ) (рис. 3.3).

Обмен телеметрической информацией между МО и РЦ осуществляется в соответствии с методом многостанционного доступа с частотно-временным разделением каналов.

Бортовая радиостанция запрограммирована на один рабочий цифровой канал для передачи данных. В режиме ожидания осуществляется прием данных от РЦ на частоте контрольного канала. Передача данных от МО в РЦ производится периодически по запросу от РЦ несколько раз в секунду. Как более прогрессивный вариант, в последнее время стал использоваться принцип событийной системы, когда бортовой контроллер посылает данные радиоцентру по мере их изменения, а не по запросу. Такое распределение ролей между бортовыми контроллерами и РЦ позволяет сохранять информацию о состоянии МО в его контроллере, освобождая ДЦ от обработки одинаковой информации в случае отсутствия изменений состояния и от безответных запросов при попадании МО в радиотень. В последнем случае состояния сохраняются в бортовом контроллере и выдаются по выходе МО из радиотени.

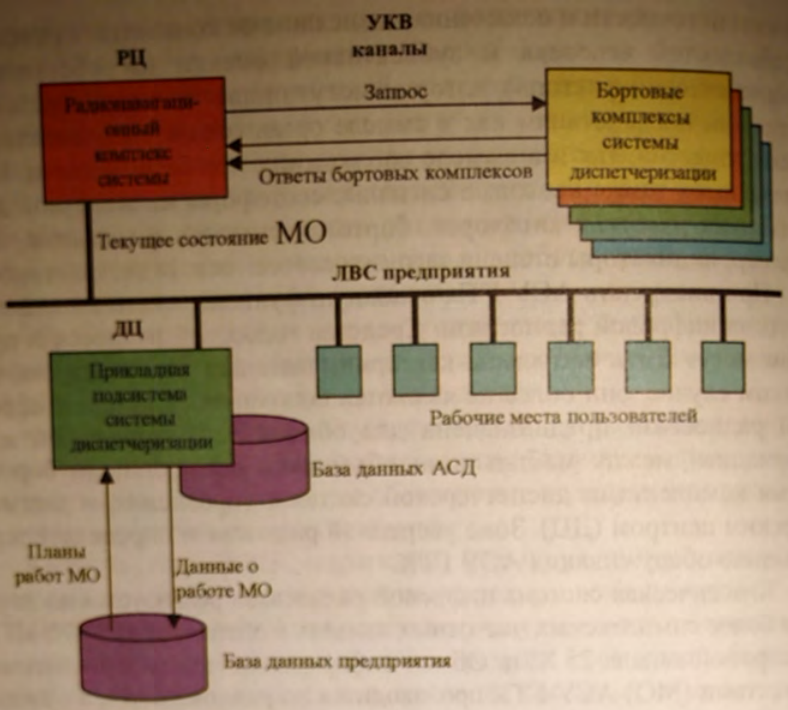



**Рис. 3.3. Структурная схема системы радиосвязи.**

Пакет данных, получаемых от МО, включает:

- уникальный номер бортового комплекта;
- системное время местоопределения;
- широту и долготу;
- скорость и направление движения;
- показатель качества определения координат, число видимых спутников (см. подраздел 3.5);
- состояние бортовых датчиков;
- служебную информацию.

Радиостанция МО должна быть настроена таким образом, чтобы обеспечивать автоматическую работу бортового комплекса без участия водителя (машиниста). В частности, она должна включаться автоматически при включении массы, не должна выключаться вручную, не должна давать возможность переключать каналы. С этой целью ее рекомендуется помещать в закрывающийся отсек.

Информация от РЦ в ДЦ и от ДЦ на ПК пользователей производится в порядке, обычном для использования ЛВС. Водители (машинисты) в современной АСУ ГТК имеют возможность обмена с диспетчером сообщениями, которые выбираются из стандартного набора сообщений при помощи клавиш и меню на пульте оператора (водителя) (рис. 3.4) Такие экстренные сообщения, как «АВАРИЯ.



**Рис. 3.4. Пульт оператора (водителя).**

ВЫСЫЛАЙТЕ 03», «НУЖЕН ТОПЛИВОЗАПРАВЩИК» и подобные, могут сопровождаться на стороне диспетчера специфическими звуковыми сигналами. В отличие от голосовых сообщений вербальная связь по цифровым каналам значительно надежнее, к тому же, сообщения, их автор и дата-время сообщения фиксируются системой в базе данных.

Большой интерес представляет применение в системе диспетчеризации радиосвязной системы TETRA, уже осуществленное компанией «ВИСТ Групп» в ОАО «Южный Кузбасс». Спецификация TETRA описывает интегрированную цифровую транкинговую систему передачи речи и данных или ориентированную только на пакетную передачу данных. Для системы TETRA выделены частоты в диапазонах 380–400 (для служб общественной безопасности), 410–430, 450–470, 806–876 МГц. Радиоинтерфейс стандарта предполагает работу в сетке частот с шагом 25 КГц. Стандарт регламентирует дуплексный разнос, который должен составлять 10 МГц для частот ниже 700 МГц и 45 МГц для частот выше 700 МГц. В TETRA применяется метод множественного доступа с временным разделением, благодаря которому на одной несущей частоте организуются четыре логических канала. Предусматривается передача данных с коммутацией каналов со скоростью 2.4–28.8 Кбит/с в режиме дуплекс или полудуплекс по схеме «точка – точка» (в том числе возможна прямая связь между любыми двумя абонентскими радиостанциями) или «точка – многоточка» (в том числе широковещательный

режим). Специально предусматривается передача коротких сообщений: тип 1 – длина 16 бит (статусное сообщение), тип 2 – длина 32 бита, тип 3 – длина 64 бита, тип 4 – длина 2048 бит (до 256 символов ASCII). Увеличение дальности связи и зоны радиопокрытия достигается за счёт использования ретрансляторов сигналов.

Разновидность системы – Compact Tetra (рис. 3.5) использует технологию распределенного управления системой. Такой элемент как центральный коммутатор, характерный для больших систем (в том числе «большой» TETRA), в Compact Tetra не используется, что резко снижает стоимость системы. Управление Compact Tetra осуществляется от контроллеров базовых станций (БС), которые могут быть объединены по топологии соединения «кольцо». Такое решение позволяет резко повысить надежность и стабильность работы системы. В случае отказа, например, одного из контроллеров БС, работа других БС и компонентов системы не нарушается, сохраняется полный набор функций, реализуемых системой.

Модульный принцип конструкции в сочетании с возможностью наращивать систему до 32 радиоканалов и до 8 базовых станций (БС) на систему в целом предоставляют пользователям возможность гибко конфигурировать и постепенно наращивать систему, обеспечивая радиопокрытием достаточно большие территории и охватывая до 10000 абонентов.

Compact Tetra предусматривает использование шлюза с другими системами. Так как среди набора своих функций система имеет пакетную передачу данных, систему целесообразно применять в АСУ ГТК.




**Рис. 3.5. Система радиосвязи Compact Tetra.**

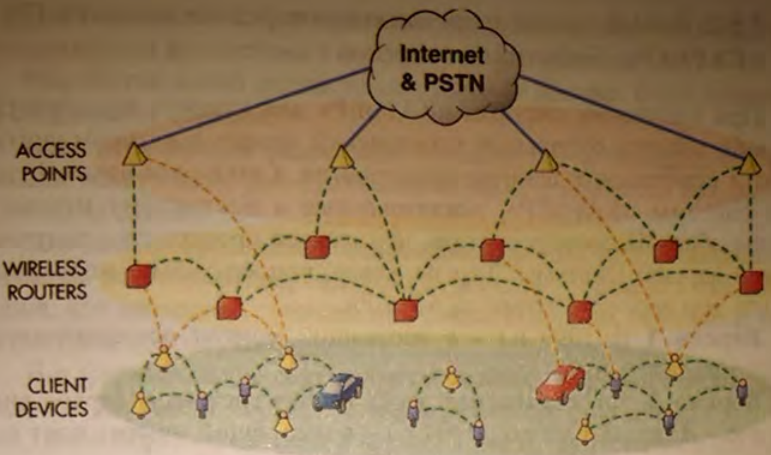



**Рис. 3.6. Система радиосвязи MESH.**

Другой прогрессивной системой связи является MESH (рис. 3.6). Эта система отличается высокой устойчивостью к отказам и воздействиям физических факторов окружающей среды. Такая высокая надежность обусловлена тем, что ретрансляторы (wireless routers – радио-роутеры) системы в случае отказа части из них или ухудшения радиовидимости могут автоматически заменить недоступные роутеры без вреда для функционирования системы, а клиентские устройства (client devices) могут поддерживать связь между собой без ретрансляторов, как показано на схеме рис. 3.5. Роутеры представляют собой небольшие блоки, устанавливаемые на мачтах в условиях наилучшей радиовидимости и питающиеся от сети 70–220 В. Они могут быть заключены в термические боксы, обеспечивающие работу устройства при температуре до –35 °С.

Система снабжается «точками входа» (access points) для доступа к ней из корпоративной сети или Интернет.

MESH предоставляет широкополосную связь в диапазоне 2.4 ГГц, достаточную для передачи не только многоканальной цифровой информации, но также голоса и изображения.

Внедрение системы радиосвязи MESH, кроме разрешения проблемы выделения радиочастотных каналов для АСУ ГТК, позволяет снять проблему общего дефицита радиоканалов предприятия на длительную перспективу.

Кроме рассмотренных систем связи, в АСУ ГТК возможно также использование цифровой радиосвязи на платформе Global System for Mobile Communications (GSM). Однако эта и другие технологии требуют предварительного изучения и проведения научно-исследовательских работ для определения их сравнительной целесообразности внедрения в масштабах ГОКа и надежности применения.

### 3.5.2. Новый подход к организации передачи данных в СД «КАРЬЕР». Событийная система

При внедрении системы «КАРЬЕР» для каждого предприятия разрабатывается отдельный технический проект, в котором учитываются особенности данного предприятия, а также все новые функции системы «КАРЬЕР», реализованные к настоящему моменту. Таким образом, можно считать, что каждое предприятие получает новую версию Системы. Тем не менее, концептуально можно выделить три версии системы «КАРЬЕР».

**Версия 1** (с 1999 г.) – в настоящий момент осуществляется только поддержка.

**Версия 2**, так называемая «событийная система» (первое внедрение – Южный Кузбасс, 2004 г.) – в настоящий момент идет интенсивное развитие.

**Версия 3** – в настоящий момент находится в процессе разработки.

С точки зрения реализации, версии 1 и 2 отличаются следующим образом: **Версия 1** – так называемая «несобытийная система»; вся обработка данных осуществляется на сервере; **Версия 2** – так называемая «событийная система»; первичная обработка данных осуществляется на контроллере.

К преимуществам системы версии 2 можно отнести:

- отсутствие потерь данных в теневых зонах, то есть зонах, где радиосвязь с объектом отсутствует или затруднена;
- более точные временные измерения: время наступления событий фиксируется с точностью до 1 с, а не с точностью 10–40 с.

Но система версии 2 предъявляет несколько большие требования к подсистеме передачи данных по сравнению с версией 1, а именно:

1. система должна передавать данные от ПО СКЗ для ПО сервера «прозрачно», то есть не делая никаких предположений о структуре пересылаемых данных и не изменяя ее;
2. система должна ориентироваться на передачу данных в виде пакетов, то есть порций данных, имеющих определенную длину (длина может быть различной у различных пакетов);
3. система должна обеспечивать гарантированную доставку пакетов;
4. система должна гибко распределять свою пропускную способность. Контроллеры, накопившие большое количество готовых к передаче пакетов, должны иметь приоритет по сравнению с контроллерами, у которых таких пакетов мало или они отсутствуют;
5. система должна «уметь» работать на нескольких частотах и с использованием репиторов.

Требованиям 1. 3. 4 подсистема передачи данных на базе РНБ (традиционная подсистема в версии 1) не удовлетворяла.

Разработка новой подсистемы передачи данных была проведена следующим образом.

Все оборудование радиосвязи осталось без изменения что позволило заказчикам, уже купившим версию 1 обойтись без дополнительных затрат.

Все детали протоколов, относящиеся к работе в радиоканале (размеры пакетов, паузы, синхронизация и пр.), остались без изменения, что позволило существенно сократить время отладки и ввода системы в эксплуатацию.

Все формирование содержимого пакетов, формирование плана опроса и управление приоритетами изменилось полностью.

Таким образом, переход к версии 2 для предприятия сводится к следующим действиям:

- замена серверного программного обеспечения, установка новой базы данных;
- возможна установка нового сервера;
- перепрошивка всех РНБ и СКЗ;
- адаптация используемых отчетов и форм, уникальных для предприятия;
- обучение пользователей.

Необходимо обратить внимание на то, что, поскольку вся новая функциональность разрабатывалась для версии 2, то предприятие, переходящее к версии 2, кроме уже перечисленных выгод, получает и очень значительный набор новых или существенно улучшенных функций, в том числе:

- новый модуль выдачи сменного задания (Truck Manager);
- график выходов водителей;
- оценка технической готовности самосвалов;
- выполнение плана самосвалами/экскаваторами;
- график рейсов самосвалов;
- табель работы самосвалов.

Эти функции позволяют говорить о качественном скачке функциональности системы «КАРЬЕР», позволяющем решать существенно больший круг задач.

### 3.5.3. Системы идентификации и позиционирования

Для успешного управления работой совокупности мобильных объектов (диспетчеризации) важно знать, какой объект в данный момент и в каком месте находится и на какой работе занят. Самосвалы, экскаваторы, локомотивы, отдельные думпкары и другие единицы мобильной техники имеют бортовые (гаражные) номера.

Это обстоятельство используется при учете выполнения сменных заданий операторами-«отметчиками», то есть применяется визуальный метод идентификации транспортных средств. Этот метод недостаточно надежен ввиду решающего значения все того же «человеческого фактора». При внедрении АСУ ГТК такой метод неприемлем. В системе диспетчеризации используется передача по радио пакетов, содержащих, помимо рабочей телеметрической информации, идентификационный номер бортового комплекта, который привязан к данному объекту.

В АСУ ГТК может быть применена методика RFID (Radio Frequency Identification – радиочастотная идентификация), по которой мобильные объекты имеют бортовые датчики, излучающие или отражающие модулированный радиосигнал, являющийся уникальным для каждого объекта (подробнее см. раздел 7).

Для определения местоположения объекта большое распространение в настоящее время получила GPS-навигация. Глобальная система позиционирования (Global Positioning System – GPS) посредством 24 спутников NavSTAR, выведенных на 6 стационарных орбит (по 4 спутника на орбиту) с высотой более 20000 км (рис. 3.7), обеспечивает одновременную видимость нескольких спутников, что дает возможность определять координаты транспортных средств с достаточной точностью. ООО «ВИСТ Групп» применяет в своем бортовом контроллере блок РНБ (радионавигационный блок) совместно с GPS-антенной, позволяющий определять координаты с точностью 3–5 м в плане. Что касается таких задач, как еще более точное, дециметровое позиционирование, например, для самонаведения буровых станков и определения в реальном времени координат ковшей



**Рис. 3.7. Схема спутниковой навигации GPS.**

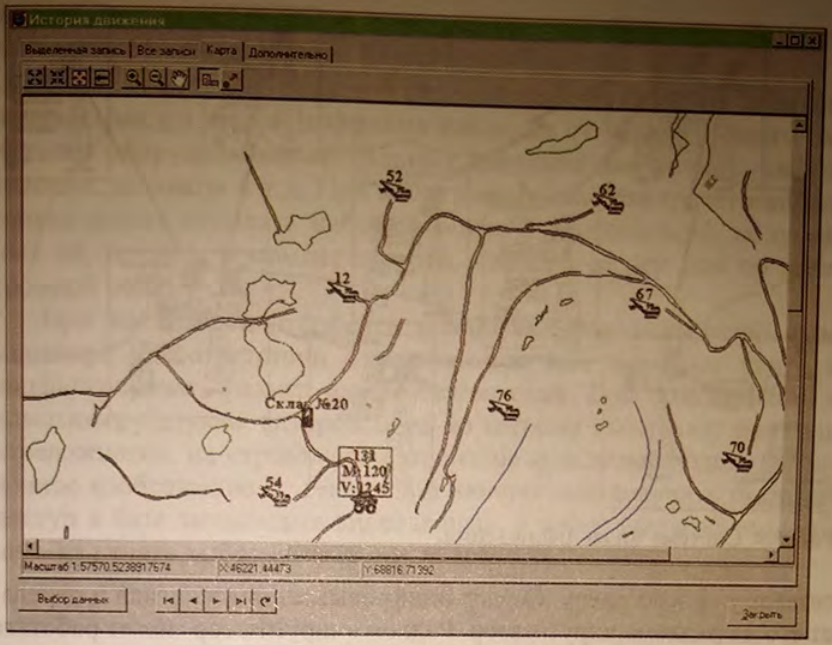



**Рис. 3.8. Картинка на экране дисплея диспетчера.**

экскаваторов, то в этих случаях применяется СВП – система высокоточного позиционирования (подраздел 3.7).

Таким образом, для определения позиций мобильных объектов в карьере и на технологических путях вне карьера необходимо, чтобы каждый объект в составе бортовой системы имел антенну GPS, радионавигационный блок и находился в зоне радиополя радионавигационного комплекса ДЦ.

В результате рассмотренных мер идентификации о позиционирования объектов на экране дисплея диспетчера (рис. 3.8) и в базе данных отображаются все мобильные объекты, включенные в АСУ ГТК, с их идентификационными номерами и координатной привязкой, соответствующей реальному времени.

### 3.5.4. Система видеонаблюдения

Видеонаблюдение представляет собой дополнительное средство контроля за ходом работ и, кроме того, является действенным средством охраны объектов предприятия. Современные системы видеонаблюдения обладают качествами, позволяющими использовать их ночью и в условиях плохой видимости. Общее представление о системе видеонаблюдения можно получить из рис. 3.9.

На предварительно выбранных точках устанавливаются специализированные видеокамеры в герметичном термобоксе с поворотным устройством, которые подключены по коаксиальному кабелю к

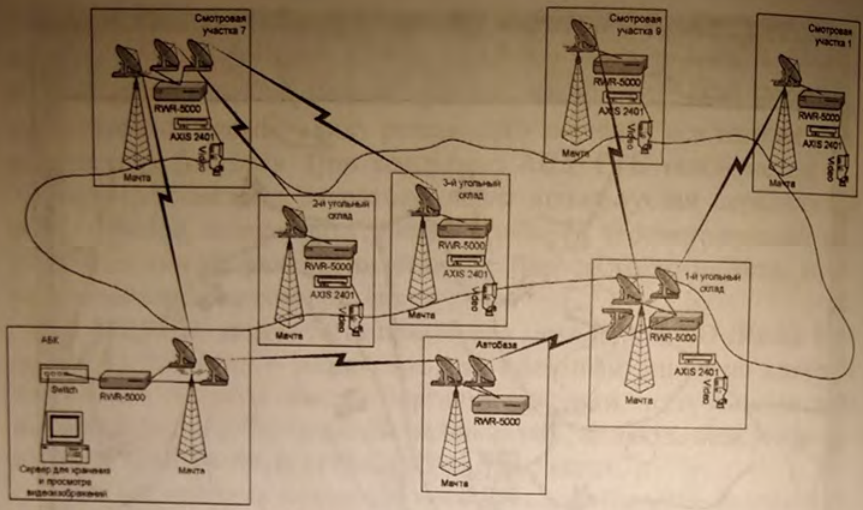



**Рис. 3.9. Система видеонаблюдения.**

сетевому видеосерверу. Сервер оцифровывает видеосигнал и передает его на радиомаршрутизатор. Радиомаршрутизатор может работать также в качестве ретранслятора сигнала. Сервер также осуществляет функции управления поворотным устройством видеокамеры, масштабом изображения и т. д. В конечном итоге оцифрованные видеосигналы поступают на центральный сервер для архивирования и просмотра видеоизображений.

Систему видеонаблюдения можно использовать автономно, без подключения к компьютерной сети предприятия. В этом случае подключаются только те компьютеры, с которых будет вестись наблюдение.

В случае подключения к корпоративной компьютерной сети предприятия просмотр изображений возможен с любого компьютера сети, с которого разрешен доступ средствами сетевого администрирования.

Видеокамеры черно-белого исполнения в комплекте с объективом, поворотным устройством, стеклоочистителем, термобоксом и другими механизмами образуют видеокомплекс, имеющий всепогодное исполнение и позволяющий наблюдать объекты с дальних расстояний и при крайне низкой освещенности.

Видеосервер позволяет передавать высококачественные JPEG изображения с частотой до 30 кадров в секунду в реальном времени. Он представляет собой устройство для передачи видеоизображений по компьютерным сетям. Сервер легко интегрируется в уже существующие системы наблюдения и корпоративные приложения. В частности, можно беспрепятственно просматривать «живые» видеоизображения от видеосерверов, подключен-

ных к сети, при помощи стандартного web-браузера Netscape Navigator, Microsoft Internet Explorer или другого.

Можно настроить реакцию видеосервера на внешние события, получаемые им в виде цифровых сигналов от периферийного охранного оборудования: сигнальных датчиков или кнопок, инфракрасных датчиков и т.д. При поступлении сигнала тревоги видеосервер может отсылать набор тревожных изображений, полученных до, после и в момент тревоги, на файл-сервер или по электронной почте.

При настройке интерфейса можно задавать количество окон монитора в соответствии с количеством используемых камер и конфигурировать размер «тревожного» окна. При подключении к компьютеру двух мониторов, один из которых выполняет функции «тревожного», на «тревожном» мониторе можно наблюдать увеличенное изображение от выбранной камеры или получить быстрый доступ к базе записанных видеоданных, а также оперативно выводить на печать выбранные на нем кадры.

## 3.6. Радионавигационный комплекс (радиоцентр)

### 3.6.1. Функции комплекса

Как уже указывалось выше, радионавигационный комплекс АСУ ГТК является крупной составной частью диспетчерского центра. Его схема представлена на рис. 3.10.

Его основные функции заключаются в следующем:

- поддержание связи с мобильными объектами по радиоканалам и с информационно-вычислительным комплексом (ИВК) ДЦ по ЛВС в режиме реального времени;
- предварительная обработка оперативной информации от мобильных объектов перед передачей в ИВК;
- ввод поправок при использовании системы высокоточного позиционирования (СВП).

В режиме RTK, который применяется для высокоточного (дециметрового) позиционирования, так же, как в кодовом дифференциальном режиме, который используется в АСУ ГТК разработки «ВИСТ Групп», для передачи поправок применяется отдельный радиоканал, но при этом частота поправок, как правило, не должна превышать 0.5–2 с, в отличие от кодового дифференциального режима, где поправки могут обновляться раз в 10 с.

В кодовом режиме поправки передаются со скоростью 1200 бит/с 1 раз в 10–15 с, что обеспечивает точность позиционирования в плане 2–5 м.

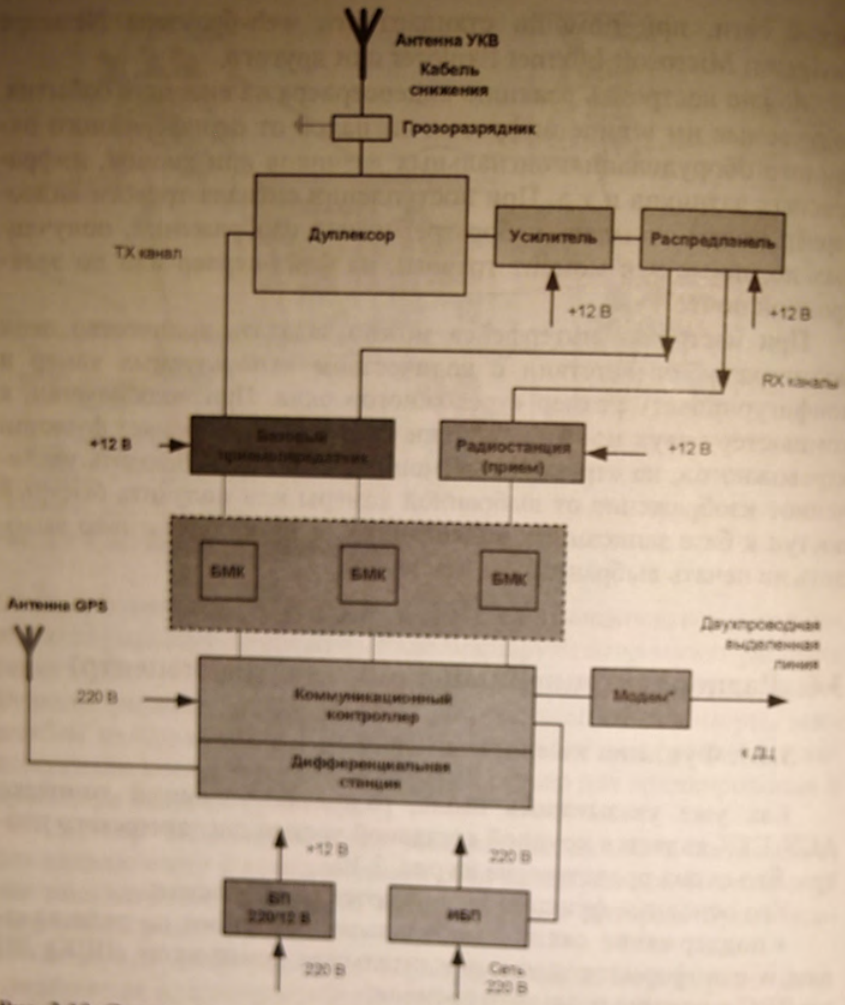



**Рис. 3.10. Схема радионавигационного комплекса.**

В RTK скорость передачи данных должна быть не менее 9600 бит/с. Для осуществления передачи поправок с такой скоростью используются специализированные (неголосовые) радиостанции и радиомодемы, такие как Pacific Crest или Trimmark.

Система RTK занимает канал на 100%, но используется непостоянно. В связи с этим системой RTK смогут пользоваться также и другие пользователи, например, маркшейдер для проведения съемок при наличии соответствующего инструментария.

Кроме того, связь в этом режиме по физическим причинам из-за более высокой скорости передачи имеет качество на 40–50 % хуже по дальности и при отсутствии прямой видимости пунктов, связи, чем радиосвязь диспетчерской системы. Поэтому для обеспе-



**Рис. 3.11. Размещение комплекса в стойке.**

чения лучшего покрытия зоны работ рекомендуется устанавливать RTK базовую станцию не на радиоцентре, а на более высокой мачте.

Размещение радионавигационного комплекса в стойке показано на рис. 3.11.

### 3.6.2. Алгоритм работы связи в диспетчерской системе

Радиоцентр (РНК) формирует и передает на частоте контрольного канала групповой запрос, включающий в себя следующую информацию:

- параметры ответного пакета от МО;
- номер первого МО в группе;
- маска группы, определяющая, какие МО в группе должны отвечать на данный запрос, а какие нет.

Количество МО, которые должны ответить на данный групповой запрос, определяется маской группы, но не превышает 16.

Бортовое оборудование всех МО, подключенных к АСУ ГТК, в режиме ожидания осуществляет прием данных от ДЦ на частоте контрольного канала. После приема группового запроса радиона-

вигационный блок (РНБ) конкретного МО определяет, необходимо ли ему отвечать на данный запрос, и вычисляет номер временного кадра, в течение которого он должен передать данные в ДЦ.

В ответном пакете каждого МО содержится следующая информация:

- навигационные параметры МО;
- состояние бортовых датчиков;
- формализованные сообщения экипажа МО диспетчеру;
- служебные данные, включающие события, совершенные на МО за время передачи последнего пакета.

Радиоцентр (РНК) осуществляет прием данных от группы МО, определенных групповым запросом, параллельно по двум частотным каналам. После получения ответов от всех МО группы радиоцентр формирует и передает следующие пакеты:

- пакет квитанций, в котором сообщается, от каких МО, обозначенных групповым запросом, получены данные;
- текстовые сообщения диспетчера экипажу МО с указанием номера МО, если такие сообщения поступили от ИВК в РНК на данный момент времени;
- служебные сообщения, например, для включения режима МТСО;
- новый групповой запрос на следующую группу МО.

Радиоцентр формирует и передает по контрольному каналу дифференциальные поправки в формате RTCM SC-104, тип I. Периодичность передачи дифференциальных поправок задается администратором системы, но не превышает 10 с. Дифференциальные поправки передаются перед пакетом квитанций.

Для синхронизации временных соотношений передачи данных РНК и МО используется единая шкала времени спутниковой навигационной системы GPS.

### 3.6.3. Алгоритм работы связи с МТСО

Система МТСО (мониторинг технического состояния объекта) использует тот же комплект связного оборудования, что и диспетчерская система. При необходимости включения режима МТСО команда на включение передается по управляющему каналу диспетчерской системы.

После получения команды РНБ переводит бортовую радиостанцию на канал МТСО. При этом, до окончания режима МТСО, текущие данные на ДЦ не передаются, а в зависимости от настроек накапливаются в бортовом контроллере.

Бортовой контроллер считывает информацию с датчиков и через РНБ в пакетном режиме передает данные в сервер для после-

дующего отображения на АРМ МТСО. По окончании сеанса связи РНБ переводит радиостанцию на канал диспетчерской системы, и работа системы в штатном режиме продолжается.

### 3.6.4. Алгоритм работы связи в режиме RTK

Данные в системе высокоточного позиционирования (СВГ) передаются с базы в радиоэфир непрерывно и независимо от других элементов системы. Радиосвязная аппаратура пользователей RTK, которая может успешно декодировать сигнал, передает дифференциальную поправку RTK на вход высокоточных приемников GPS.

### 3.6.5. Регламент радиосвязи системы диспетчеризации горно-транспортного оборудования

Выделенный частотный ресурс и радиосвязное оборудование бортового комплекта (обычно радиостанция Motorola GM-340) используются исключительно в режиме цифровой передачи данных.

Основной режим радиосвязи - передача данных о местоположении и состоянии МО.

Передача целеуказаний диспетчера экипажу МО осуществляется в виде произвольного текстового сообщения, визуализируемого на экране выносной панели СКЗ. Экипаж МО подтверждает получение целеуказания отправкой в ДЦ формализованного сообщения.

Передача информации экипажа МО диспетчеру осуществляется в виде формализованных сообщений из заранее определенного списка.

Для примера приводится список стандартных сообщений для автосамосвала:

**Категория «ТРЕВОГА»:**

«ПРОШУ 03»

«ДТП»

«ВЫЗВАТЬ СЛУЖБУ БЕЗОПАСНОСТИ»

«ЗАКОНЧИЛОСЬ ТОПЛИВО. ПРОШУ ЗАПРАВЩИК»

«ЗАКОНЧИЛОСЬ МАСЛО. ПРОШУ ЗАПРАВЩИК»

**Категория «НОРМА»:**

«В РАБОТЕ»

«СООБЩЕНИЕ ПРИНЯЛ. ВЫПОЛНЯЮ»

«ПОМОЩЬ ПРИБЫЛА»

Для обеспечения голосовой радиосвязи экипаж МО, по усмотрению руководства, оснащается другими радиостанциями.

### 3.6.6. Структура радиоцентра и состав оборудования

Радиоцентр состоит из следующих составных частей (рис. 3.12):

• антенно-фидерного радиооборудования, установленного на антенной мачте вблизи диспетчерской службы автобазы и передающей антенны RTK (место установки уточняется дополнительно);

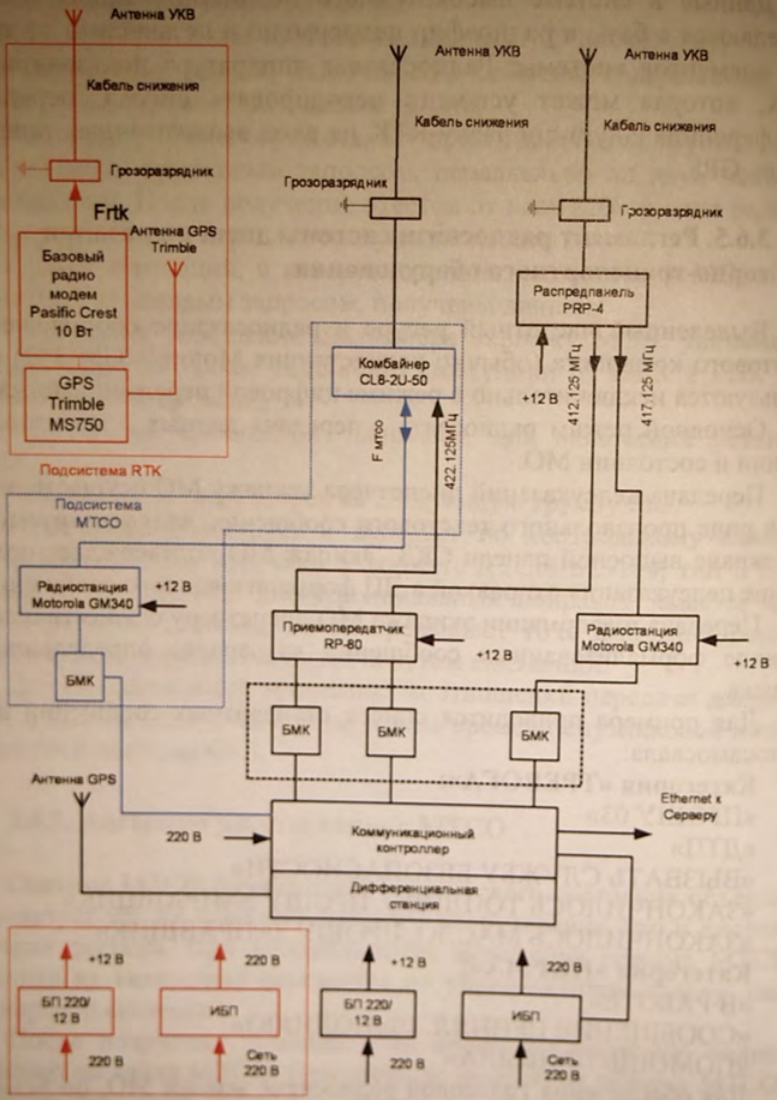



**Рис. 3.12. Структура радиоцентра.**
Синим выделено дополнительно устанавливаемое оборудование для системы МТСО, красным – для СВП; остальное – уже имеющееся оборудование.

• GPS антенны диспетчерского центра (обычный режим) и антенны RTK (высокоточные измерения);

• базового приемопередающего и каналообразующего оборудования;

• базовых модем-контроллеров радиоканалов; коммуникационного контроллера системы (индустриальный компьютер) со встроенной дифференциальной станцией для системы RTCM и временной синхронизации элементов системы;

• устройств резервного электропитания и блоков питания аппаратуры;

• вспомогательного оборудования (клавиатура, монитор, переключатель консоли).

## 3.7. Бортовое оборудование мобильных объектов

### 3.7.1. Выполняемые функции

На рис. 3.13. показана структура бортового оборудования МО.

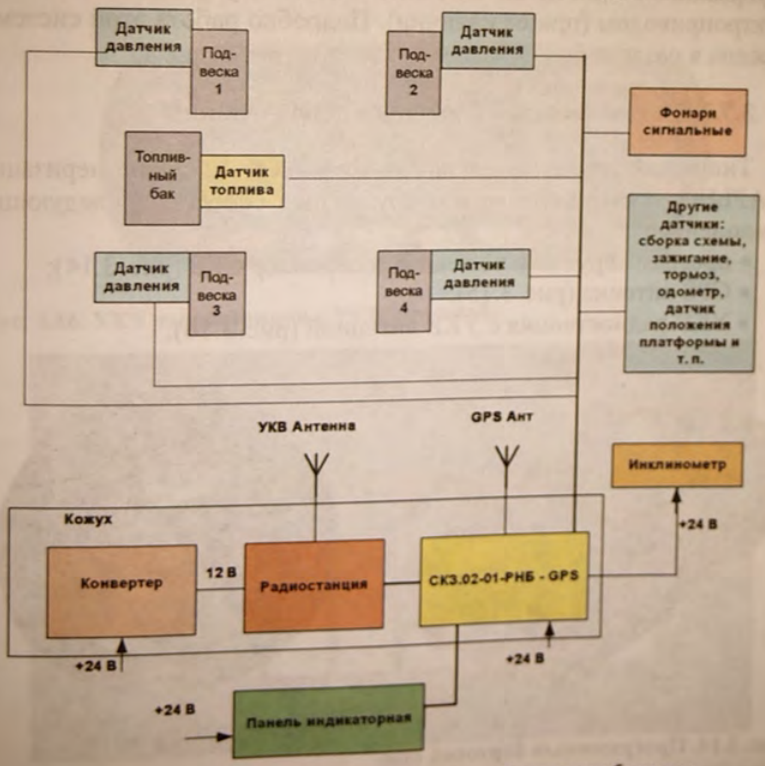



**Рис. 3.13. Структура бортового оборудования мобильных объектов.**

Бортовое оборудование мобильных объектов (МО) выполняет следующие функции:

- с помощью спутниковой системы GPS определяет местоположение МО;
- автоматически поддерживает связь с радионавигационным комплексом ДЦ;
- определяет вес груза (для автосамосвала);
- осуществляет контроль уровня топлива;
- предоставляет средство связи с диспетчером посредством панели визуализации;
- при наличии подсистемы мониторинга технического состояния объекта (МТСО) определяет состояние агрегатов МО при помощи соответствующих датчиков (опционно);
- с помощью системы высокоточного позиционирования определяет положение МО или его рабочего агрегата (опционно).

Этими функциями управляет программная система бортового контроллера.

Бортовой контроллер обладает также возможностью передачи информации от датчиков СУТЭП – системы управления тяговым электроприводом (при ее наличии). Подробно работа этой системы описана в разделе 5.

### 3.7.2. Типовой состав бортового оборудования

Типичный для автоматизированной системы диспетчеризации «КАРЬЕР» состав бортового оборудования состоит из следующих компонентов:

- программируемый бортовой контроллер СКЗ (рис. 3.14);
- GPS антенна (рис. 3.15);
- УКВ радиостанция с УКВ антенной (рис. 3.16).



Рис. 3.14. Программный бортовой контроллер.




Рис. 3.15. GPS антенна.

УКВ радиостанция с УКВ антенной (рис. 3.16) (как и все компоненты оборудования, радиостанция должна находиться в закрытом отсеке).

Бортовой контроллер выполняется в нескольких исполнениях. В комплектацию контроллера СКЗ исполнения 02.01 включена панель визуализации B&R Panel Ware, позволяющая обмениваться с диспетчерской службой стандартными сообщениями (имеет дисплей в 2 строки по 20 символов) (рис. 3.17):

В бортовое оборудование входит комплект датчиков: датчики уровня топлива (рис. 3.18), расходомеры и блоки расходомеров СДМ (рис. 3.19), датчики давления (рис. 3.20), инклинометры ИК-02 и т.д.

Система учета расхода топлива с применением датчиков уровня и расходомеров на 5–10 %, уменьшает расход дизтоплива.

Кроме датчиков давления (рис. 3.20), перспективным представляется применение в бортовом оборудовании датчиков силы (загрузки) ДЗ-20 с применением эффекта Холла. Конструкция датчика использует узел крепления кронштейна подвески – стальной палец (рис. 3.21). При этом миниатюрный механоэлектрический преобразователь силы встраивался внутрь пальца.




Рис. 3.16. УКВ радиостанция с УКВ антенной.

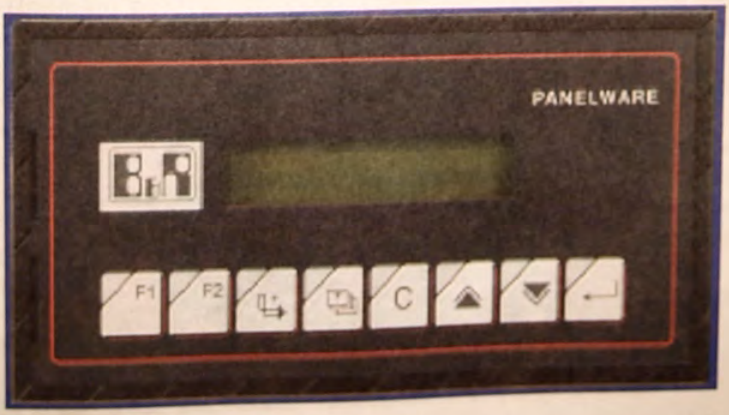



Рис. 3.17. Панель визуализации сообщений.

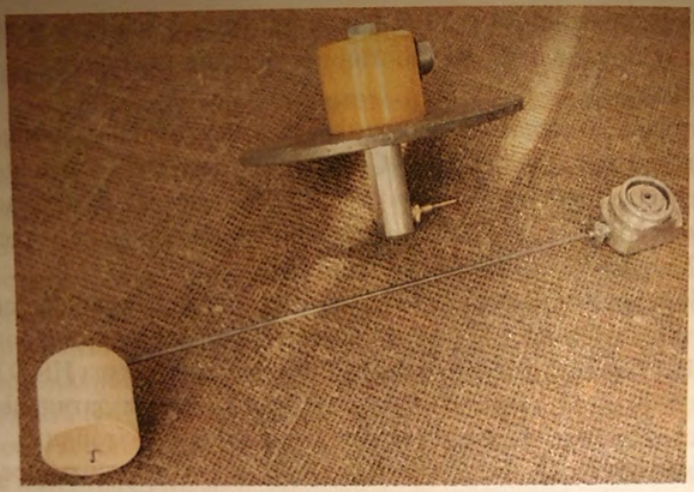


Рис. 3.18. Датчики уровня топлива в баке.

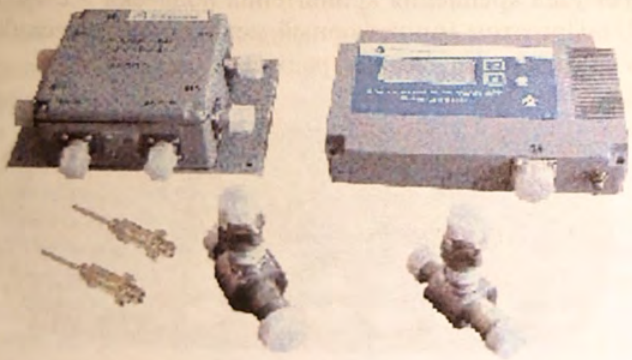


Рис. 3.19. Расходомеры и блоки расходомеров.



Рис. 3.20. Датчики давления газа в подвесках.



**Рис. 3.21. Узел крепления датчика давления к кронштейну подвески.**

Физический принцип построения устройств измерения и контроля на эффекте Холла – бесконтактное преобразование индукции магнитного поля в электрический выходной сигнал и его обработка. В качестве источников магнитного поля используется миниатюрная магнитная система постоянных магнитов. Характерной особенностью таких датчиков является отсутствие механического контакта между объектом контроля и органом преобразования, что способствует повышению их надежности.

Особенно актуальным является применение датчиков типа ДЗ на автосамосвалах, грузоподъемность которых менее 60 т. Стандартный подход к взвешиванию перевозимого груза карьерными самосвалами большой грузоподъемности, заключающийся в определении массы груза по показаниям датчиков давления, установленных в цилиндрах пневмогидроподвесок, не дает нужной точности при использовании этого метода на самосвалах сравнительно малой тоннажности из-за сил сухого трения в гидропневматических подвесках. Применение датчиков типа ДЗ в совокупности с поправками, получаемыми от инклинометров ИК-02, снижает погрешность до 1.5 %. что приемлемо для коммерческого учета массы перевозимого сырья.

Принцип работы бортового оборудования следующий. Бортовой контроллер периодически опрашивает датчики давления в подвесках самосвала, датчик уровня топлива и инклинометр, обрабатывает сигналы «подъем платформы», «ход вперед», «ход назад», «сборка схемы», сигнал с датчика вращения колеса и информацию с GPS приемника. Кроме этого, контроллер принимает и обрабатывает информацию, поступающую по радиоканалу с диспетчерского центра, и обрабатывает информацию, вводимую водителем на функциональной клавиатуре панели, установленной в кабине.

На панели визуализации (рис. 3.17) водитель в любое время может увидеть и проконтролировать:

- вес груза;
- количество рейсов с начала смены;
- скорость движения;

• пробег груженого и порожнего самосвала за последний рейс;
• информацию об исправности системы;
• текстовое сообщение, посланное диспетчером или автоматически и пр.

Водитель (машинист) имеет возможность не только принимать на панель визуализации сообщения диспетчера, но и передавать в диспетчерский центр сообщения: начало, окончание смены, тип простоя и т.п. Список стандартных сообщений не является жестко запрограммированным, он согласовывается на этапе технического проектирования и вводится в систему во время пусконаладочных работ.

Вес груза, вычисляемый по показаниям датчиков давления в газомаслонаполненных амортизаторах подвески, определяется с точностью ±5% от максимальной загрузки самосвала и уточняется во время движения. Ошибка взвешивания носит несистематический характер, поэтому фактически средняя ошибка взвешивания груза за всю смену не превышает 1–2 % от максимальной загрузки самосвала.

Кроме того, имеется возможность контролировать угол наклона площадки при погрузке при помощи одной из разновидностей датчиков – инклинометров, что увеличивает точность определения веса груза.

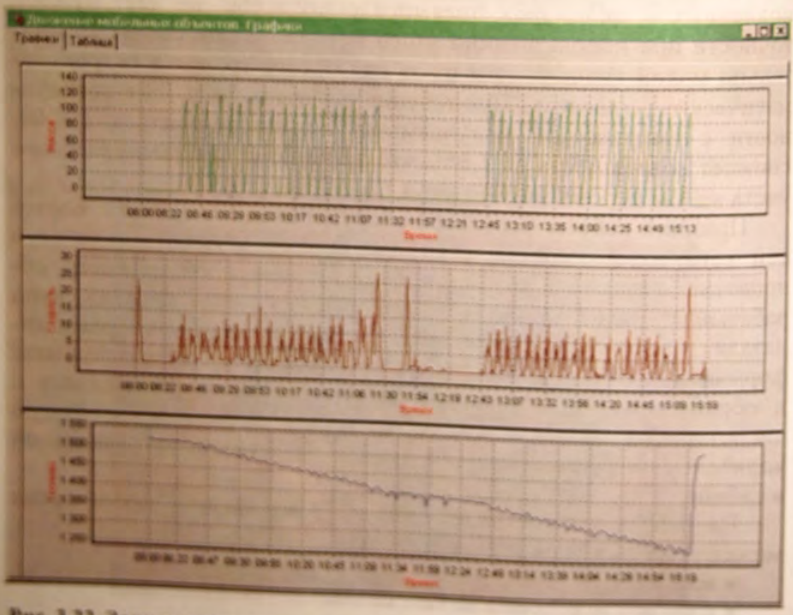


**Рис. 3.22. Запись параметров процесса движения автосамосвалов.**

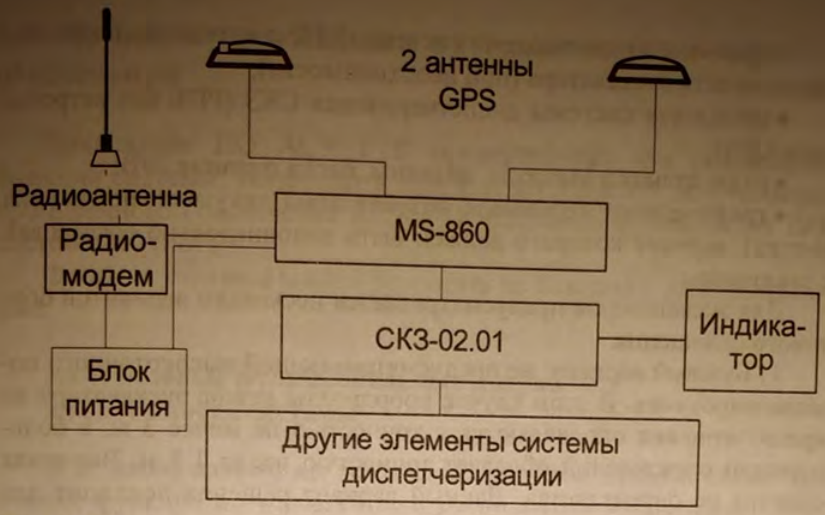



**Рис. 3.23. Схема бортового оборудования СВЧ.**

В системе применяется наружная световая индикация степени загрузки автосамосвала, и машинист экскаватора может учитывать степень загрузки по сигнальным фонарям самосвала для избежания недогруза или перегруза.

Точность определения уровня топлива в баке составляет 1–3 % от объема бака в зависимости от типа датчика. Эта точность достаточна для исключения несанкционированного слива топлива и определения расхода топлива за смену. Для определения удельного расхода топлива по определенному маршруту используются усредненные данные по нескольким рейсам. О важности опции определения уровня топлива можно судить по тому факту, что на некоторых предприятиях только за счет экономии топлива в течение нескольких месяцев достигается окупаемость внедрения системы.

Информация, полученная от разнообразных датчиков, может быть затем представлена в АСУ ГТК в любом удобном для отчета или анализа виде, например, как показано на рис. 3.22.

При необходимости самонаведения буровых станков, определения координат ковша экскаватора особого внимания требует высокоточное определение координат (с дециметровой точностью). При этом крупной модификации подвергается и ДЦ, и бортовое оборудование, применяется система высокоточного позиционирования – СВП (схему бортового оборудования СВП см. на рис. 3.23). Вместо блока РНБ в таких случаях используется двухантенный GPS приемник режима передачи данных RTK.

Бортовой комплект СВП состоит из:

• двухантенного комплекса Trimble MS860 RTK Heading или аналогичного;

• приемного радиомодема системы RTK с антенной; блока питания от сети экскаватора (при необходимости);

• комплекта системы диспетчеризации СКЗ (РНБ без встроенного GPS);

• радиостанции Motorola, антенны, блока питания 24В;

• графического терминала визуализации текущего положения (опция), вариант которого должен быть дополнительно согласован с заказчиком.

Для экскаваторов предусматривается несколько вариантов бортового оснащения.

1) Базовый вариант, не предусматривающий высокоточного позиционирования. В этом случае координаты ковша экскаватора во время черпания определяются с точностью не менее 3 м, а большинство определений обладает точностью около 1.5 м. Высотная отметка не определяется. Данный вариант решения подходит для большинства заказчиков.

2) Вариант с высокоточным позиционированием ковша экскаватора с учетом дирекционного угла направления стрелы экскаватора. Вариант предусматривает контроль высотной отметки. Реализуется с помощью двухантенной технологии GPS.

3) Вариант с высокоточным позиционированием при помощи одной GPS антенны без определения дирекционного угла направления стрелы экскаватора. По всей видимости, это оптимальный вариант оснащения, если есть потребность высокоточных определений координат только самого экскаватора. При этом есть возможность определения фактического направления отработки забоя.

Мониторинг технического состояния объектов (МТСО) экскаваторов и буровых станков – это опционная подсистема, которая может устанавливаться в дополнение к базовой установке. Датчики МТСО подключаются к тому же контроллеру СКЗ, который используется в базовом варианте системы «КАРЬЕР». Мониторинг технического состояния автосамосвалов выполняется без подсистемы МТСО, т. е. для самосвалов доработка системы не требуется. Подробно это рассмотрено в разделе 5.

Для подсистемы МТСО используется 1200 бод, при этом не требуется закупка и установка дополнительного оборудования. Подсистема МТСО занимает канал периодически, в зависимости от интенсивности работы инженерного персонала, но полностью. Поэтому, поскольку частотного ресурса для системы МТСО в обычном составе системы не предусматривается, требуется получение еще одной радиочастоты для МТСО и дооснащение радионавигационного комплекса.

## 3.8. Функции прикладного программного обеспечения

Прикладное ПО АСУ ГТК предназначено для реализации функций системы, указанных в подразделах 3.2 и 3.3. Для примера программного обеспечения АСУ ГТК рассмотрим блок-схему ПО системы «КАРЬЕР».

Функции системы можно разделить на базовые и дополнительные.

### 3.8.1. Базовые функциональные модули и возможности системы

Этот набор пакетов является ядром системы и обеспечивает основные функции по управлению и учету работы самосвалов и экскаваторов. Можно выделить следующие пакеты (наборы функциональных возможностей) (рис. 3.24):

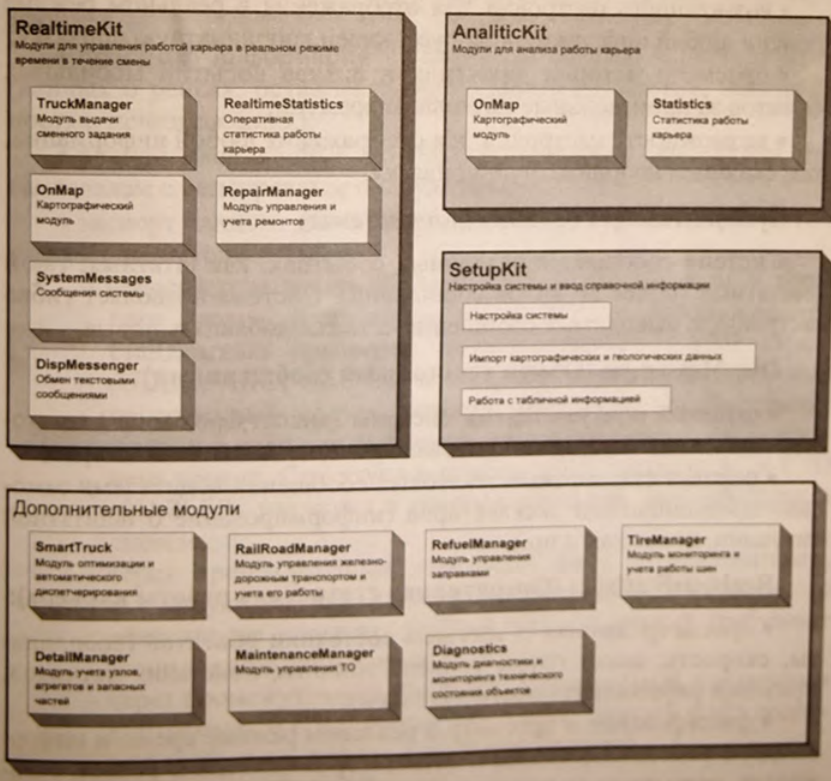



Рис. 3.24. Пакеты и модули Системы.

• ***RealtimeKit*** (модули для управления работой в карьере в реальном режиме времени в течение смены);

• ***AnalyticKit*** (модули для анализа работы карьера);

• ***SetupKit*** (настройка системы и ввод справочной информации).

***Пакет RealtimeKit (модули для управления работой в карьере в реальном режиме времени в течение смены)***

**TruckManager (Модуль выдачи сменного задания):**

• ежесменное планирование работы самосвалов и экскаваторов;

• выдача сменного задания экскаваторам с использованием графика выхода водителей;

• выдача сменного задания самосвалам с использованием графика выхода водителей;

• печать путевых листов.

**OnMap (Картографический модуль):**

• наблюдение за мобильными объектами на карте в реальном режиме времени;

• возможность настройки для отображения в реальном режиме времени любой информации, допускающей координатную привязку;

• просмотр истории движения и архива событий мобильных объектов за произвольные интервалы времени;

• возможность настройки для отображения любой информации, допускающей координатную привязку.

**SystemMessages (Сообщения системы)**

Система сообщает о различных событиях, как штатных, так и нештатных (более 30 видов сообщений). Система позволяет гибко настраивать выводимые сообщения, а также добавлять новые.

**DispMessenger (Обмен текстовыми сообщениями):**

• отправка пользователями системы (диспетчеров и пр.) текстовых сообщений водителям самосвалов/машинистам экскаваторов;

• оправка стандартных текстовых сообщений водителями самосвалов/машинистами экскаваторов (информирование о нештатной ситуации, поломках и пр.).

**RealtimeStatistics (Оперативная статистика работы карьера):**

• просмотр данных о текущем состоянии объектов (координаты, скорость, масса груза, уровень топлива, показания датчиков, признаки работоспособности датчиков);

• фиксирование и просмотр в реальном режиме времени информации о работе самосвалов и экскаваторов (данных о рейсах, остановках, превышениях скорости, неисправностях, исчезновениях);

• фиксирование заправок и сливов топлива (по датчику топлива);
• отображение почасовых объемов для экскаваторов и самосвалов;
• статистика работы экскаваторов;
• учет простоев самосвалов.

**RepairManager (модуль управления и учета ремонтов):**

• выдача заданий на ремонт;
• печать ремонтных листов;
• занесение в систему данных о поломках и ремонтах экскаваторов;
• обработка текстовых сообщений водителей самосвалов о поломках.

***AnalyticKit (модули для анализа работы карьера)***

**Statistics (Статистика работы карьера):**

• просмотр итогов смены (более 30 показателей по каждому самосвалу), в том числе массы перевезенного груза, топлива и масла;
• просмотр информации о работе самосвалов и экскаваторов (данных о рейсах, остановках, превышениях скорости, неисправностях, исчезновениях);
• ручной ввод данных по необорудованным самосвалам или самосвалам с неисправным оборудованием;
• экспорт данных. для экспорта данных могут быть применены следующие методы:
  – непосредственно из БД АСУ ГТО «КАРЬЕР» в АСУ верхнего уровня, посредством языка SQL, с использованием стандартных драйверов поддерживаемых СУБД Oracle (ODBC, ADO, OLE DB и т.п.), или через промежуточный программный модуль, который обеспечит преобразование данных в требуемый формат, поддерживаемый АСУ верхнего уровня. Структура и описание БД системы АСУ ГТО «КАРЬЕР» изложена в сопроводительной документации к системе;
  – через промежуточный текстовый файл с разделителем, формируемый при помощи клиентского программного обеспечения системы. Данный файл содержит требуемые данные в заданном формате;
  – через промежуточный dbf-файл, формируемый клиентским программным обеспечением системы. Данный файл содержит требуемые данные в заданном формате.
• печать отчетов Crystal Reports.

***SetupKit (настройка системы и ввод справочной информации)*:**

- настройка системы (в том числе и удаленная настройка ПО контроллеров);
- импорт в систему картографических и геологических данных;
- работа с табличной информацией.

### 3.8.2. Дополнительные функциональные модули и возможности системы

**RailRoadManager** (модуль управления железнодорожным транспортом и учета его работы).

**Назначение**

Модуль управления и учета работы железнодорожного транспорта расширяет базовую функциональность системы (работу с самосвалами и экскаваторами), осуществляя учет и управление работой локомотивов, составов, думпкаров, а также экскаваторов и пунктов разгрузки, работающих с железнодорожным транспортом.

**Функции**

Модуль реализует следующие функции:

- выдача железнодорожному транспорту сменного задания;
- отображение железнодорожного транспорта на карте в реальном режиме времени и в записи;
- автоматическое определение рейсов локомотивов и думпкаров;
- отображение данных по рейсам локомотивов и думпкаров в реальном режиме времени;
- подсчет и отображение итоговых данных за смену.

**SmartTruck** (модуль оптимизации и автоматического диспетчеririрования)

**Назначение**

Оперативное управление (автоматическое диспетчерирование) работой горно-транспортного комплекса карьера осуществляется при помощи модуля SmartTruck.

Целью работы модуля оптимизации является вычисление оптимального распределения самосвалов по маршрутам (экскаваторам и пунктам разгрузки) в соответствии с заданными критериями оптимизации, в частности, для поддержания определенного процентного содержания полезных компонентов при шихтовке.

**Критерии (алгоритмы) оптимизации**

Система предоставляет возможность использования большого количества критериев (алгоритмов) оптимизации. Можно привести следующие критерии в качестве примеров:

• формирование заданного (одинакового или различного по выбору) процентного содержания компонента в руде на всех перегрузочных складах (по каждому компоненту, количество компонентов неограниченно);

• выполнение задания по количеству руды;

• равномерность производительности экскаваторов;

• общая производительность экскаваторов;

• близость паспортной и вычисленной производительности экскаваторов;

• равномерность производительности экскаваторов (в процентах от реальной производительности) и др.;

• предпочтения экскаваторов (учет указаний диспетчера).

При выборе критерия *Формирование заданного процентного содержания компонента в руде* в качестве главного критерия обеспечивается накопление на пункте разгрузки руды с заданным процентным содержанием.

Значимость и осмысленность каждого критерия определяется в зависимости от решаемых на предприятии задач. При работе модуля оптимизации каждый критерий оценивается численно. Каждому критерию сопоставляется его «вес», то есть числовой коэффициент, отражающий его значимость (например, качество шихтовки имеет существенно больший «вес», чем близость паспортной и вычисленной производительности экскаваторов). Если некоторый критерий не следует учитывать, ему можно задать нулевой «вес».

Таким образом, критерии можно применять по отдельности и в совокупности. Например, нас в первую очередь интересует достижение требуемого процентного содержания некоторого компонента в руде на пунктах разгрузки, затем по важности идет максимизация объема добычи, а равномерность производительности экскаваторов тоже важна, но существенно меньше. В этом случае можно указать такие веса для критериев:

| | |
|---|---|
| Формирование заданного процентного содержания компонента в руде | 100 |
| Максимизация объема добычи | 80 |
| Равномерность производительности экскаваторов | 5 |

Заметим, что *особенностью модуля оптимизации является его гибкость*. Это достигается специальными подходами, применяемыми при решении задачи оптимизации. Можно легко добавлять произвольные новые критерии, учитывать новые факторы, изменять приоритеты критериев в зависимости от целей на данный момент времени. Новые критерии могут быть самые произвольные, например, использование самосвалов с большим пробегом на маршрутах с малым перепадом высот.

Новые критерии также можно использовать как по отдельности, так и вместе со стандартными критериями.

**Применение модуля оптимизации**

**1. Предварительная стадия**

На этой стадии пользователи системы диспетчеризации должны снабдить модуль оптимизации необходимой информацией, например: указать длины маршрутов (экскаватор – пункт разгрузки), указать максимальную производительность экскаваторов и качество руды, указать имеющееся в наличии количество самосвалов, выбрать один или несколько критериев оптимизации, указать свои предпочтения при выборе экскаваторов при распределении самосвалов, и т.д.

**2. Первоначальная выдача задания самосвалам**

В начале смены запускается модуль оптимизации и определяет, к какому экскаватору и пункту разгрузки должен направляться каждый самосвал. Эта информация может быть передана водителям несколькими способами:

- в виде текстового сообщения, отправляемого на контроллер;
- с помощью голосовой связи «диспетчер-водитель»;
- в виде путевого листа.

Также возможна выдача сменного задания с помощью модуля выдачи сменного задания.

**3. Работа в течение смены**

Модуль оптимизации запускается *автоматически* после каждой разгрузки каждого самосвала, то есть тогда, когда возникает необходимость в определении следующего маршрута для самосвала. Возможны следующие варианты дальнейших действий:

Модуль самостоятельно отправляет указания водителю о новом маршруте в виде текстового сообщения.

Модуль информирует диспетчера о распределении самосвала под экскаватор и ждет согласия диспетчера. В этом случае модуль может предоставить диспетчеру доводы в пользу принятого решения. Диспетчер может внести свои коррективы. После этого новое задание отправляется также в виде текстового сообщения.

Вместо текстовых сообщений также может применяться голосовая радиосвязь.

Диспетчер должен в течение смены вносить данные о произошедших изменениях, которые могут повлиять на распределение самосвалов по экскаваторам, таких как поломки (и окончание ремонта) экскаваторов и самосвалов, изменения в процентном содержании руды при перемещениях экскаваторов, и т.д.

Для определения качества руды загружаемой автосамосвалам также может использоваться геологическая модель горных работ предприятия.

Для этого из геологической модели горных работ (например, из пакета Gems) выгружаются планы содержания полезных компонентов в забоях экскаваторов в базу данных диспетчерской системы (непосредственно или с использованием промежуточного текстового файла).

Далее эта информация в совокупности с информацией о положении ковша экскаватора поступает в обработку сообщений от мобильных объектов, что в итоге даёт информацию о качестве руды находящейся в кузове автосамосвалов.

**4. Работа с оборудованием рудоконтролирующих станций (РКС)**

Модуль оптимизации можно автоматически запускать не только при возникновении события *разгрузка самосвала*, но и при других событиях, например, при событии *анализ груза самосвала на РКС*. Соответственно, указания модуля будут относиться к скорректированной информации о содержании кузова самосвала.

Для автоматического получения данных от РКС система будет снабжена соответствующим программно-аппаратным модулем.

**RefuelManager** (модуль управления заправками)

**Назначение**

Модуль предназначен для автоматического управления заправками автосамосвалов с целью снижения простоев самосвалов и других эксплуатационных издержек, возможных при заправках самосвалов.

**Функции**

- Определение самосвалов, которым требуется заправка, и степени ее необходимости;
- посылка команд самосвалам в виде текстовых сообщений;
- фиксирование заправок;
- определение объема топлива по датчику топлива на топливозаправщике.

**TireManager** (модуль мониторинга и учета работы шин)

**Назначение**

Для контроля эксплуатации шин в системе предусмотрен модуль ***TireManager***. Данный модуль позволяет собирать статистику по работе каждой отдельной шины установленной на автосамосва-

ле, а также производить наблюдение в реальном режиме времени за доступными параметрами их эксплуатации.

Использование данного модуля позволит:

- собирать актуальную и достоверную статистику по каждой шине;
- автоматически и своевременно информировать персонал о полном или частичном износе шины, что позволит принять оперативное решение о замене шины или спланировать её замену на ТО и исключить выход из строя шин во время работы автотранспорта и, соответственно, и связанные с этим простои;
- перераспределять автосамосвалы с большим коэффициентом износа шин на другие более щадящие маршруты, что позволит продлить их срок службы;
- непрерывно контролировать основные критерии эксплуатации, и в случае превышения установленных норм принимать соответствующие действия.

**Функции**

Модуль позволяет заносить в систему марку, номер, нормы эксплуатации и другую информацию для каждой из учитываемых шин и вести статистику по установки и снятию каждой шины на самосвалы. Модуль автоматически ведет учёт пробега и тонно-километров и выводит информацию об износе каждой шины на экране. Модуль также в режиме реального времени контролирует и выводит на экран основные эксплуатационные критерии и в случае превышения соответствующих норм оповещает персонал звуковым сигналом и текстовым сообщением.

Вся статистика по работе шин, а также информация об критических ситуациях может быть отображена на любом из рабочих мест клиентов системы (если у них есть соответствующие права) в удобном для анализа виде (графиках, таблицах и др.).

**DetailManager** (модуль учёта узлов, агрегатов и запасных частей)

**Назначение**

Данный модуль позволяет решать простые складские задачи по учёту запасных частей, а также описывать, какие агрегаты установлены на тот или иной объект и из каких узлов и деталей они состоят. Также модуль позволяет вести статистику по пробегу узлов и агрегатов. Данный модуль может работать в тесной связи с модулем управления ТО (***MaintenanceManager***).

Использование данного модуля позволяет:

- решать складские задачи без дополнительного программного обеспечения и сложного и дорогостоящего обучения персонала;

• получать актуальную картину по износу оборудования;

• получать актуальную информацию о местонахождении того или иного агрегата, узла или детали.

**Функции**

Модуль позволяет заносить в систему информацию о наличии деталей (узлов, агрегатов, запасных частей) на складе, их количестве, объединять их в группы, выписывать и возвращать их на склад. Описывать из каких частей состоят агрегаты, и на какие транспортные средства они были установлены, задавать нормы и коэффициенты износа. Автоматически учитывать пробег всех деталей установленных на тот или иной автосамосвал. Выдавать информацию о расходе запасных частей по автосамосвалам.

**MaintenanceManager** (модуль управления ТО)

**Назначение**

Данный модуль позволяет вести учёт проведения технического обслуживания и ремонтов автосамосвалов, вести статистику по времени проведения, продолжительности и выполненным работам. Автоматически определять и предупреждать персонал о необходимости проведения того или иного технического обслуживания для конкретных автосамосвалов. Вести непрерывный контроль пробега (моточасов) автосамосвала, его узлов и агрегатов с момента последнего технического обслуживания.

Использование данного модуля позволит:

• вести достоверную статистику по проведению технических обслуживанию, по продолжительности этих работ, их периодичности, качества выполнения и других косвенных причинах;

• вести статистику и учет замененных узлов и агрегатов автосамосвалов, что позволит судить о стоимости проведения технического обслуживания, а так же косвенно о качестве тех или иных запчастей различных заводов изготовителей;

• функционирование модуля на платформе базового программного обеспечения позволяет выстраивать полную и достоверную картину проведения технического обслуживания и ремонтов: где производилось техническое обслуживание или ремонт, в какое время и сколько по времени заняли эти работы;

• на основании данных модуля производить своевременное планирование технического обслуживания или ремонтов, а так же судить о режимах эксплуатации транспортного средства.

**Функции**

Модуль позволяет заносить в систему регламентированные виды технического обслуживания и ремонтов сопоставлять им нор-

мативы проведения и перечни работ. Модуль позволяет вести статистику как по проведению технического обслуживания или ремонтам для автосамосвалов, так и в отдельности для всех узлов и агрегатов, установленных на этом автосамосвале. Ведется архив установки/снятия узлов или агрегатов с автосамосвала, по которому формируется сводки по расходу запчастей. Модуль автоматически информирует персонал о необходимости проведения того или иного технического обслуживания для конкретного автосамосвала, а так же информирует персонал о поломках автосамосвалов во время работы.

**Diagnostics** (модуль диагностики и мониторинга технического состояния объектов)

**Назначение**

Данный модуль служит для оперативного наблюдения за техническим состоянием оборудования мобильных объектов и контроля нарушений в функционировании оборудования.

**Функции**

Модуль визуализирует на рабочих местах пользователей текущие значения датчиков, которыми оснащены мобильные объекты, и различные параметры их работы. Данные отображаются как в табличной форме, так и с помощью специальных программных компонентов, имитирующих внешний вид приборов.

Контроллеры, которыми оборудуются мобильные объекты, значения датчиков могут получать либо непосредственно, либо через другие контроллеры. Например, диагностика параметров работы самосвалов Caterpillar доступна через интерфейс VIMS.

Список контролируемых параметров зависит от типа мобильного объекта.

С помощью модуля SystemMessages, входящего в базовый набор, контролируется выход значений датчиков и параметров работы оборудования из допустимых диапазонов.

# 4. ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В КАРЬЕРЕ

## 4.1. Общие задачи систем управления

Современные программные системы должны обеспечивать:

- эффективную переработку геологической информации, правильное планирование и учет потоков минерального сырья;
- принятие стратегических решений на основе нескольких вариантов развития горных работ и получение максимального экономического эффекта;
- организацию автоматизированной системы контроля и управления *качеством* руды, поступающей на обогатительные фабрики;
- автоматизированное изготовление всех видов графических материалов, сопровождающих горно-геологические расчеты, и их использование в системе АСУ ГТК для повышения эффективности ГТК.

Для повышения эффективности менеджмент должен одновременно решать задачи повышения качества и объема выпускаемой продукции, снижения издержек производства.

Горные компьютерные технологии, в частности, АСУ ГТК, позволяют решать эти задачи путем обеспечения:

- повышения оперативности и полноты использования геологической, экономической и экологической информации;
- осуществления в реальном времени мониторинга технологических процессов и технического состояния объектов;
- принятия в реальном времени управленческих, проектных и плановых решений.

При этом значительная часть информации, получаемой в процессе выполнения геологоразведочных, технологических, транспортных и других циклов производства, привязывается к конкретным пространственным координатам горного предприятия.

В последние годы большинство задач, связанных с хранением, обработкой, моделированием, анализом и прогнозом пространственно привязанных данных решается с помощью специализированных геоинформационных горно-геологических систем – ГИС. Они позволяют:

- создавать геологические цифровые модели месторождения, горных выработок;
- строить цифровые трехмерные модели рельефа местности;

• осуществлять долгосрочное и детальное геологическое и экономическое планирование разработки карьеров;

• моделировать и анализировать территориальное развитие горно-геологических комплексов.

В свою очередь, АСУ ГТК позволяют:

• использовать геологическую модель и план поверхности карьера, полученные от ГИС, при осуществлении диспетчеризации управления мобильными средствами в реальном масштабе времени с применением современных средств компьютерной графики и связи;

• передавать в ГИС информацию, накопленную в своей базе данных, например, для контроля фактического направления отработки экскаваторных забоев в течение смены, что используется маркшейдерской службой;

• совместно с ГИС использовать результаты обработки данных, полученных за смену, для оперативной корректировки недельно-суточных прогнозов и сменных заданий.

Таким образом, автоматизированные системы управления (АСУ ГТК) используют информацию ГИС как исходные данные и, в свою очередь, предоставляют результаты своей работы для обновления исходных данных ГИС.

Кроме специализированных систем горно-обрабатывающих отраслей, как на любом крупном предприятии, в горной промышленности применяются автоматизированные компьютерные системы типа АСУТП (управления технологическими процессами), разного рода информационные и информационно-справочные системы, системы бухгалтерского учета и адаптированные к конкретным условиям крупные системы управления производством (АСУП) или самостоятельно разработанные программные комплексы, выполняющие роль АСУП. Кроме того, на предприятиях обычно со временем нарабатывается большое количество разрозненных или плохо связанных, но полезных программ, которые специалисты хотели бы использовать и впредь.

Все эти программные единицы нуждаются в интеграции вокруг наиболее крупных и сложных программных систем, запланированных к внедрению. При этом очень важно правильно расставить акценты и определить стратегию взаимной адаптации (а не подчинения) систем и программ друг с другом с использованием для этого современных технологий для создания единого и удобного в применении информационного пространства.

## 4.2. Место АСУ ГТК в общей информационной системе горного предприятия

Интегрированные информационные системы горных предприятий (ИИС ГП) – информационные системы, выполняющие все или большинство необходимых функций на промежуточном уровне между верхним уровнем – АСУП (автоматизированными системами управления производством) и нижним уровнем – АСУТП (автоматизированными системами управления технологическими процессами).

ИИС – это горные системы общего пользования, которые позволяют реализовать весь спектр технологических операций, начиная от обработки первичной геологической информации и кончая выдачей готовых чертежей спроектированного карьера или шахты.

ИИС тесно связаны с системами перечисленных ниже типов, которые считаются составными частями ИИС.

*Специализированные системы.* Примером могут служить системы типа ГИС и системы, выполняющие какую-нибудь одну или несколько определенных функций. Последние иногда разрабатываются на самом горно-добывающем предприятии и затем включаются в состав ИИС, исходя из принципа создания единого информационного пространства.

*Регистрирующие системы* – системы, осуществляющие контроль тех или иных этапов технологических процессов (взвешивание груза, фиксирование прохождения автосамосвала мимо датчика, определение качества шихты и т.п.) и собирающие статистические данные для дальнейшего анализа, отчетов или использования в ИИС.

*Управляющие системы* – автоматизированные системы управления (АСУ). К ним относятся и системы типа АСУ ГТК.

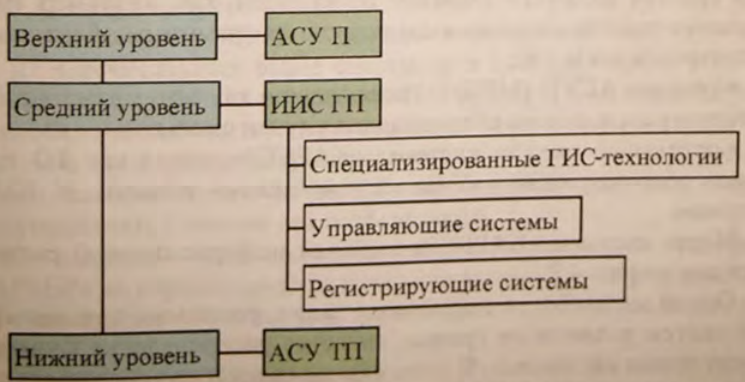



**Рис. 4.1. Иерархия систем управления горно-обогатительным комбинатом.**

## 4.3. Принципы интеграции АСУ ГТК с системами обслуживания и ремонтов

Существуют специализированные компьютерные системы обеспечения и учета техобслуживания (ТО) и ремонтов (Р), в том числе и для горно-добывающих предприятий. Одной из них является программный комплекс TRIM производства НПП «СпецТек» (Санкт-Петербург). Этот комплекс ориентирован на управление основными фондами. Но, в частности, данные о результатах работы автосамосвалов за смену в комплекс TRIM приходится вводить вручную. Эти и другие данные можно получить из базы данных автоматизированной системы диспетчеризации компании «ВИСТ Групп».

На современном этапе управления производством на горном предприятии можно выделить следующие классы программного обеспечения:

- на самом нижнем уровне расположены системы класса АСУТП;
- уровнем выше находятся системы АСУП (или MES – в западной терминологии);
- следующий уровень занимают системы управления предприятием (ERP-системы).

ERP-системы, как правило, состоят из многих модулей, в том числе модулей ТО и Р (техническое обслуживание и ремонты) и складских модулей (объединяемых понятием EAM). Кроме того, есть различные информационные системы, решающие частные задачи. Примером такой системы является система геологического моделирования и планирования горных работ GEMS компании Gemcom Software International Inc.

В состав системы «КАРЬЕР» входит несколько из перечисленных выше уровней:

- уровень АСУТП – решение таких задач, как, например, фиксирование рейсов, остановок самосалов программным обеспечением контроллеров и т. п.;
- уровень АСУП (MES) – такие задачи, как оптимизация работы горнотранспортного оборудования внутри смены;
- отдельные модули системы «КАРЬЕР», такие как ТО и Р, «Учет оборудования», «Учет шин» можно отнести к EAM-системам.

Место системы «КАРЬЕР» в общей информационной системе показано на рис. 4.2.

Одной из наиболее актуальных задач, решаемых при интеграции систем различного уровня, является распределение функций между этими системами. В этом случае следует руководствоваться следующими принципами:

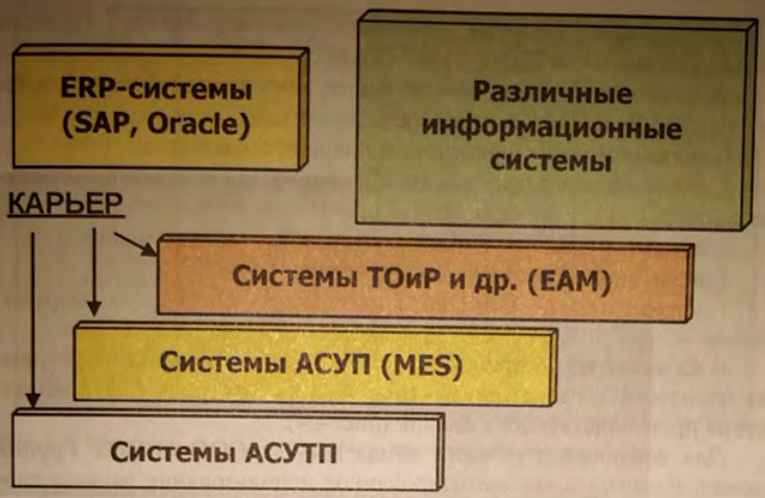



**Рис. 4.2. Место системы «КАРЬЕР» в общей информационной системе горного предприятия.**

- использование наиболее сильных сторон каждой системы;
- возможность оптимизации производственного плана по нескольким производственным областям (например, планирование работы карьера и горно-обогатительной фабрики);
- согласованное хранение данных, четкое разделение данных по системам: если данные, относящиеся к одной и той же функции, хранятся в разных системах, то возникают серьезные проблемы, связанные с противоречивостью этих данных;
- обеспечение необходимой оперативности данных (например, одни и те же данные в MES-системах могут появляться значительно раньше, чем в ERP-системах).

В качестве примера можно рассмотреть такую задачу, как планирование на смену. Технически оно может осуществляться в любой из перечисленных выше систем: и в ERP-системе, и в MES-системе (в том числе и в системе «КАРЬЕР»), и в системе GEMS. Но необходимо помнить о том, что для каждого из этих вариантов есть свои преимущества и недостатки. Как правило, построение модели взаимодействия систем на конкретном предприятии следует осуществлять с учетом его особенностей.

К наиболее типичным вариантам интеграции системы «КАРЬЕР» на горном предприятии можно отнести следующие:

- интеграция с системами технического обслуживания и ремонтов;
- интеграция с ERP-системами;
- интеграция с системами геологического моделирования.

Разработаны Типовые сценарии взаимодействия системы «КАРЬЕР» и систем ERP и ТОиР (EAM).

Можно выделить несколько сценариев взаимодействия системы «КАРЬЕР» с EAM-системами/модулями:

1. формирование оперативного плана производства;
2. формирование программы планового ТО и ремонтов оборудования;
3. контроль факта исполнения производственного плана;
4. внеплановый ремонт оборудования;
5. управление данными по фактическому состоянию оборудования.

В качестве иллюстрации можно привести сценарии «Программа планового ТО и ремонтов» (рис. 4.3) и «Контроль факта исполнения производственного плана» (рис. 4.4).

Для исключения ручного ввода данных ООО «ВИСТ Групп» может обеспечить автоматизированное использование данных своей системы в комплексе программных средств TRIM. Поэтому можно считать, что с точки зрения TRIM интеграция обеспечивается системой «КАРЬЕР».

Кроме того, сама АСУ ГТК «КАРЬЕР» обладает модулем, специально предназначенным для планирования технического обслуживания.

Этот модуль называется Maintenance Manager (модуль управления ТО).

| Водитель / Контроллер | Диспетчер | Ремонтное подразделение | Планирование производства |
|---|---|---|---|
| Данные по наработке и состоянию<br>План движения самосвалов<br>Сообщение о завершении ремонта | Регистрация данных по наработке и состоянию<br>Оперативный план проведения ремонта<br>Сменно-суточное задание<br>Подтверждение завершения ремонта | Формирование плана предупредительных ремонтов<br>Согласование плана ТОиР с производственной организацией<br>Корректировка плана ТОиР<br>Создание заказа ТОиР<br>Обработка заказа ТОиР<br>Подтверждение заказа ТОиР | Формирование плана добычи с учетом плановых ремонтов<br>Корректировка плана добычи |

**Рис. 4.3. Программа планового ТО и ремонтов.**

| Водитель / Контроллер | Диспетчер | Ремонтное подразделение | Планирование производства |
|---|---|---|---|
| Объем добычи/ перевозки<br>Данные по расходу ГСМ<br>Данные по качеству руды<br>Пробег и наработка грузовиков | Сменно-суточное задание<br>Подтверждение сменно-суточного задания<br>Оперативный учет текущих данных<br>Регистрация данных по наработке и состоянию | Сменно-суточное задание<br>Подтверждение сменно-суточного задания<br>Учет наработки грузовиков | Формирование производственных объемов<br>Фактические данные по объему добычи<br>Данные по КК/ учет партий |

**Рис. 4.4. Контроль факта исполнения производственного плана.**

Данный модуль позволяет вести учёт проведения технического обслуживания и ремонтов автосамосвалов, вести статистику по времени проведения, продолжительности и выполненным работам; автоматически определять и предупреждать персонал о необходимости проведения того или иного технического обслуживания для конкретных автосамосвалов, вести непрерывный контроль пробега (моточасов) автосамосвала, его узлов и агрегатов с момента последнего технического обслуживания.

Использование данного модуля позволяет:

- вести достоверную статистику по проведению технических обслуживаний, продолжительности этих работ, их периодичности, качества выполнения и других сопутствующих фактах;
- вести статистику и учет замененных узлов и агрегатов автосамосвалов, что позволит судить о стоимости проведения технического обслуживания, а также косвенно – о качестве тех или иных запчастей различных заводов изготовителей;
- функционирование модуля на платформе базового программного обеспечения позволяет выстраивать полную и достоверную картину проведения технического обслуживания и ремонтов: где производилось техническое обслуживание или ремонт, в какое время и сколько по времени заняли эти работы;
- на основании данных модуля можно производить своевременное планирование технического обслуживания или ремонтов, а также судить о режимах эксплуатации транспортного средства.

С точки зрения функциональности модуль позволяет заносить в систему регламентированные виды технического обслуживания и ремонтов, сопоставлять нормативы проведения и перечни работ. Модуль позволяет вести статистику как по проведению технического обслуживания или ремонтам автосамосвалов, так и в отдель-

ности всех узлов и агрегатов, установленных на автосамосвале. Ведется архив установки/снятия узлов или агрегатов с автосамосвала, по которому формируются сводки по расходу запчастей. Модуль автоматически информирует персонал о необходимости проведения того или иного технического обслуживания для конкретного автосамосвала, а также информирует персонал о поломках автосамосвалов во время работы.

## 4.4. Интеграция системы управления ГТК с системами геологического моделирования и планирования горных работ

Система диспетчеризации «КАРЬЕР» может использоваться и без геологической модели, и без плана горных работ, созданных с применением какой-либо системы ГИС. В этом случае необходимые исходные данные вводятся вручную. Но тогда теряется необходимая степень автоматизации и, соответственно, появляются предпосылки для появления ошибок уже на самой ранней стадии работ. Поэтому система «КАРЬЕР» разработана с возможностью использования геологической модели и плана работ, полученных от горно-геологической системы (DATAMINE, MINCOM, САМАРА и т.п.). Это происходит следующим образом (рис. 4.5).

Из горно-геологической системы выводится текстовый файл с рассчитанными геологическими данными, которые загружаются из этого файла в БД системы «КАРЬЕР». На основе поступающих со общений от мобильных объектов и геологической информации, извлекаемой в нужный момент из собственной базы, определяется

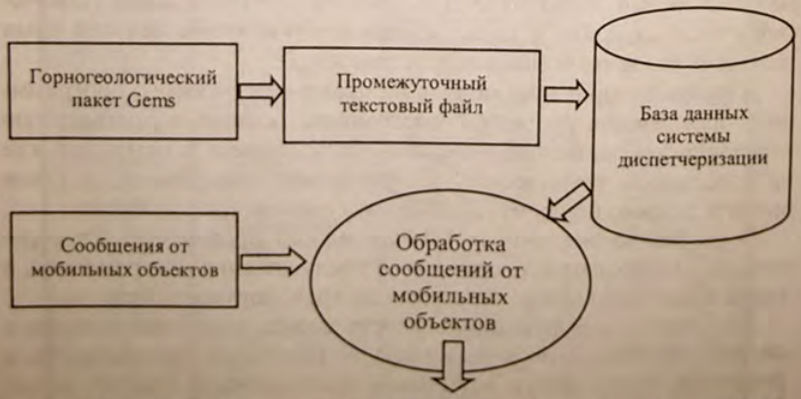



**Рис. 4.5. Схема интеграции системы «КАРЬЕР» с горно-геологической системой.**

качество руды, перевозимой отдельными автосамосвалами и всем работающим парком самосвалов за определенный период времени. Затем эти данные использует модуль оптимизации системы «КАРЬЕР» для перераспределения автосамосвалов между пунктами загрузки (экскаваторами) и пунктами разгрузки (перегрузочными складами) с целью усреднения шихты. Таким образом возможно довести процесс шихтоподготовки на этапе «забой-перегрузка» до полной степени автоматизации.

На основе плана поверхности карьера, получаемого из GEMS, можно получить «подложку» (фон) для мониторов диспетчеров (рис. 4.6).

Таким образом, интеграция с геологическими системами может выполняться по двум направлениям.

1. Использование в системе «КАРЬЕР» геологической модели GEMS.

2. Использование в системе «КАРЬЕР» планов горных работ, выполненных в горно-геологической системе.

Использование в системе «КАРЬЕР» геологической модели осуществляется в следующим порядке: актуальная часть геологической модели, относящаяся к забоям, экспортируется из геологической системы в промежуточное представление (в нашем случае – это текстовый файл) и загружается в базу данных системы «КАРЬЕР».



**Рис. 4.6. Ситуационный план карьера на мониторе диспетчера.**

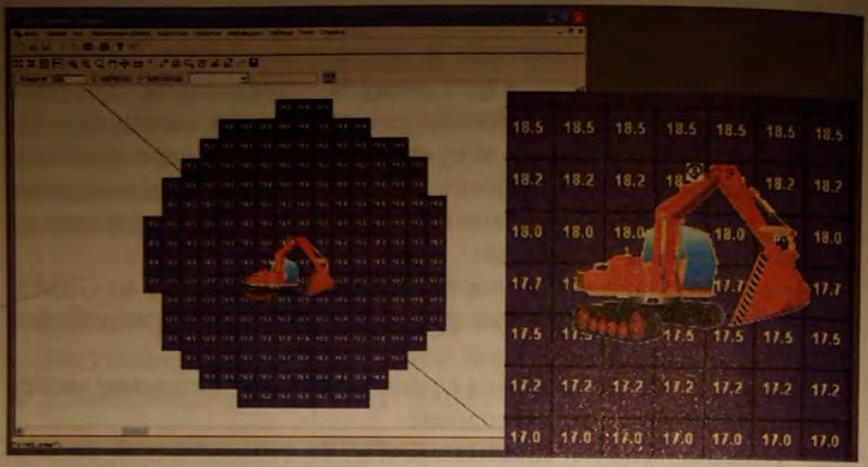



**Рис. 4.7. Отображение частичной геологической модели в системе «КАРЬЕР».**

Наличие информации в базе данных «КАРЬЕР» позволяет в реальном режиме времени получать информацию о процентном содержании полезного компонента в руде в кузове самосвала, оценивать качество усреднения руд с учетом процентного содержания, а также обеспечивать работу модуля оптимизации.

Другой вариант работы – планирование работ в горно-геологической системе и использование их в системе «КАРЬЕР» для более детального планирования – осуществляется по аналогичной схеме.

Если говорить об интерфейсах, которые должна реализовывать интегрируемая система, то их можно условно разделить на две категории: 1) когда извне осуществляется доступ непосредственно к внутренним данным системы, и 2) когда существует прослойка, скрывающая внутренние данные и специально предназначенная для решения задач интеграции.

Типичный случай представления доступа к внутренним данным таков. Система использует базу данных, и внешняя система может обращаться к данным посредством таких протоколов, как ODBC, OLE DB или более специальных.

Достоинства такого способа – высокая скорость работы и простота реализации. Недостатки также очень существенны:

- жесткая привязка к структуре внутренних данных (например, структуре БД); разработчики системы в следующей версии могут изменить структуру, после чего при обновлении версии интеграция работать перестанет, причем не всегда об этом может быть известно заранее;
- возможность повредить внутренние данные системы с самыми катастрофическими последствиями; ограничения доступа

могут отчасти исправить эту ситуацию, но они же снижают функциональность (например, если запретить изменения информации в базе данных).

Расширение функций систем диспетчеризации возможно за счет включения в нее дополнительных модулей, которые позволяют пользователям работать, не прибегая к другим, сторонним, программным средствам или ручным расчетам.

Анализ способов реализации интеграции различных систем управления производством показывает, что здесь нет каких-либо технических трудностей. Они довольно просто «стыкуются» между собой или встраиваются одна в другую.

## 4.5. Интеграция бортовых систем карьерных автосамосвалов

Кроме интеграции системы «КАРЬЕР» с другими системами, не меньшее значение имеет интеграция между собой и отдельных бортовых систем.

В настоящее время автомобильный транспорт как транспорт рабочей зоны карьера все чаще включается в контур управления диспетчерских систем горных предприятий. Практически все системы диспетчеризации горно-технологического комплекса с автотранспортом имеют оборудование, позволяющее выполнять мониторинг автосамосвалов только на линии, т.е. при выполнении технологических операций по перемещению горной массы от забоев до приемных пунктов.

Однако важно осуществлять не только мониторинг карьерных автосамосвалов как технологических средств при работе их на линии, но и контролировать состояние их узлов и агрегатов, отображать текущие значения параметров бортовых систем с выдачей предупреждений об аварийной ситуации в случае выхода значений соответствующих датчиков за допустимые пределы в целях обеспечения безопасности.

Устанавливаемые на карьерные автосамосвалы БелАЗ автономные бортовые системы контроля загрузки и топлива СКЗиТ, контроля давления в шинах СКД, диагностики дизеля и управления тяговым электроприводом СУТЭП-01 в основном решают задачи в соответствии со своим назначением (рис. 4.8).

Система контроля загрузки и топлива СКЗиТ обеспечивает решение первой задачи контроля и учета работы автосамосвалов на технологической трассе в системе диспетчеризации «КАРЬЕР», то есть слежения в режиме реального времени за их состоянием –




**Рис. 4.8. Автономные бортовые системы.**

загрузкой, расходом топлива, скоростью, местоположением, учета простоев и нарушений технологических режимов эксплуатации.

Развитие системы диспетчеризации «КАРЬЕР» идет по пути создания на горном предприятии полнофункциональной системы управления горнотранспортным комплексом на основе интеграции бортового оборудования и совершенствования алгоритмов работы систем карьерных самосвалов с возможностью передачи телеметрической информации об их техническом состоянии во время работы их на технологической трассе.

Интеграция бортового оборудования автосамосвалов позволяет качественно усовершенствовать алгоритмы работы систем по сравнению с их автономным функционированием. В системе контроля загрузки и топлива СКЗиТ, устанавливаемой на автосамосвалы грузоподъемностью 55–220 т непосредственно на заводе «БЕЛАЗ», имеются все возможности для интеграции с другими бортовыми электронными системами управления и контроля автосамосвала, а именно – с системой управления тяговым электроприводом СУТЭП-01, системами диагностики основных узлов и агрегатов самосвала (контроль работы дизеля, давления в шинах и др.).

Объединение бортовых систем самосвала возможно на основе бортового контроллера блока СКЗ-02.01 системы контроля загрузки и топлива СКЗиТ, который обеспечивает связь через CAN-

интерфейс с контроллером системы управления тяговым электроприводом СУТЭП-01, базовым блоком системы контроля давления в шинах колес СКД и контроллером системы диагностики дизеля.

Предусмотренное программно-аппаратное расширение блока СКЗ-02.01 радионавигационным блоком с встроенным GPS приемником (платой РНБ) обеспечивает передачу данных от этих систем по выделенному радиоканалу непосредственно в диспетчерский центр с сохранением этой информации на сервере системы «КАРЬЕР». Это позволяет прямо на рабочих местах пользователей диспетчерского центра оперативно наблюдать техническое состояние оборудования мобильных объектов и контролировать параметры работы, а также нарушения в их функционировании.

Так, например, при возникновении аварийных ситуаций с шинами автосамосвала автоматически передается информация о номере колеса, значении давления, дате и времени поступления аварийного сигнала и времени ликвидации аварийной ситуации. Эти данные позволяют контролировать действия водителя при устранении причин аварии и предотвращать преждевременный выход из строя или полное разрушение шин в результате снижения или увеличения давления.

Данные от систем диагностики двигателей автосамосвалов содержат информацию об их параметрах и техническом состоянии, а именно – частоте вращения коленчатого вала, температуре топлива на входе двигателя, давлении в системах охлаждения и смазки, уровне масла в картере и т. д.

В настоящее время оперативный контроль параметров и режимов работы тягового электропривода автосамосвалов БелАЗ в Системе «КАРЬЕР» не осуществляется. Для удаленного мониторинга эксплуатационных и технологических параметров, текущего состояния и сервисного обслуживания бортового оборудования системой СУТЭП-01 в диспетчерский центр по радиоканалу могут передаваться следующие параметры:

- скорость движения автосамосвала;
- обороты дизеля;
- режим работы тягового электропривода;
- ток силовой цепи;
- напряжение на выходе силовых выпрямителей;
- мощность, отбираемая на тягу;
- частота вращения мотор-колес;
- напряжение в тормозной установке в режиме электродинамического торможения;
- информация о срабатывании защит (код защиты, время срабатывания, значение параметра, вышедшего за допустимый диапазон) и др.

Подход к интеграции СКЗиТ и других бортовых электронных комплексов с помощью CAN-интерфейса является общим для развития электронных систем автосамосвалов БелАЗ. Впервые совместная работа систем СКЗиТ и СУТЭП-01 на базе автосамосвала БелАЗ-75131 с непрерывной передачей данных в диспетчерский центр был продемонстрирован специалистами ВИСТ Групп в январе 2004 г. на совещании потребителей РУПП «Белорусский автомобильный завод».

Принципы интеграции заложены в разрабатываемой системе управления тяговым электроприводом нового поколения СУТЭП-03. В этой системе широко применяются защищенные CAN-сети с ее структурными элементами и обеспечена связь бортового контроллера СКЗ-03 с системами контроля загрузки и топлива СКЗиТ, с системами контроля давления в шинах СКД и диагностики дизеля с отображением на обобщенной информации на одной панели визуализации типа РР35 или РР220.

Как пример можно привести интеграцию бортовых системы СУТЭП и СКЗ для оптимизации режимных параметров электропривода в зависимости от весовой загрузки автосамосвалов.

В автосамосвалах БелАЗ грузоподъемностью 120-220 т применена электромеханическая трансмиссия переменно-постоянного тока, которая должна обеспечивать оптимальное использование мощности дизеля и генератора. Требуемая мощность дизеля контролируется электронным или механическим регулятором в зависимости от дорожных условий на всем интервале рабочей скорости, предупреждая его перегрузку. Регулятор работает на принципе ограничения впрыскивания горючего.

Электромеханическая трансмиссия автосамосвалов должна отвечать следующим требованиям:

- развивать максимальное тяговое усилие при нулевой скорости и сохранять его в некотором диапазоне скоростей;
- развивать максимальную скорость автомобиля;
- развивать максимальную мощность во всем диапазоне скоростей.

Система управления тяговым электроприводом автосамосвала должна обеспечивать поддержание параметров нагрузочных режимов электромеханической трансмиссии в оптимальных пределах.

Для груженого автосамосвала нагрузочные режимы определяются скоростью его движения ($V$, км/ч), мощностью, развиваемой дизелем ($N$, кВт), и током силовой цепи тяговых электродвигателей на выходе трансмиссии ($I$, А), а также зависят от внешних факторов – загрузки автосамосвала ($G$, т), величины продольного уклона ($i$, %), радиуса поворота ($R$, м), качества дорожного покрытия, измеряемого удельным сопротивлением качения (Н/кН). Кроме того, на процесс

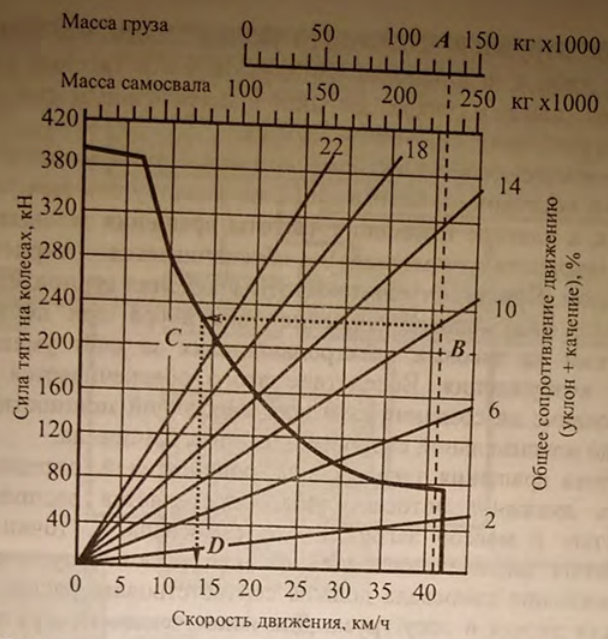



**Рис. 4.9. Тяговая характеристика автосамосвала БелаЗ-75131 грузоподъемностью 130 т.**

движения большое влияние оказывает качество вождения, то есть квалификация водителя.

В реальных условиях загрузка автосамосвалов колеблется относительно номинальной в пределах от – 20 % до + 30 %, то есть в 1.5 раза. Установка на автосамосвалы оборудования системы контроля загрузки СКЗ-02.01 позволяет сократить этот интервал от –5 % до +5 %, хотя завод-изготовитель допускает перегруз машин до 10 % от паспортной грузоподъемности.

Тяговая характеристика автосамосвала (рис. 4.9) напрямую связывает скорость его движения и силу тяги с величиной перевозимого груза. Сила тяги самосвала зависит от тока тяговых двигателей (нагрузки) и развиваемой мощности первичного двигателя. Следовательно, для обеспечения рационального управления режимными характеристиками тягового электропривода система управления должна учитывать массу перевозимого груза.

Известно, что существующие системы управления тяговым электроприводом обеспечивают заданную частоту вращения тяговых электродвигателей (скорость самосвала) с ограничением мощности дизеля, либо регулируют мощность дизеля для полного использования его ресурсов. Однако системы не обеспечивают оптимальное управление работой электропривода автосамосвала в зави-

симости от загрузки и продольного уклона дороги, что неизбежно приводит либо к недоиспользованию мощности тяговых электродвигателей, дизеля и генератора, либо к значительным их перегрузкам и, как следствие, снижению ресурса.

В автосамосвалах с электромеханической трансмиссией дизель работает с постоянной, оптимальной по расходу топлива частотой вращения, а плавное изменение частоты вращения тяговых двигателей (скорости самосвала) обеспечивается тиристорным регулятором. При увеличении частоты вращения он поддерживает постоянное минимальное значение тока якоря при постоянном напряжении на тяговых электродвигателях за счет уменьшения тока их возбуждения. Вследствие этого обеспечивается полное использование на создание тяги всей свободной мощности дизеля вплоть до максимальной скорости движения самосвала.

Частота вращения тяговых электродвигателей, определяющая скорость движения автосамосвала, определяется располагаемой мощностью и массой загруженного самосвала. С точки зрения обеспечения защиты двигателей от перегрузки допустимая скорость движения самосвала должна соответствовать располагаемой мощности дизеля и весу груза. Для исключения перегрузки электромеханической трансмиссии самосвала система автоматического управления в своем алгоритме работы сигнал о превышении допустимого веса груза, например, на 20 % может использовать только как блокировочный. В СУТЭП-01 информация о загрузке, полученная от контроллера блока СКЗ-02.01 по CAN-интерфейсу через регулируемый пороговый элемент (функциональное устройство ограничения), позволяет кратковременно изменять задание на ограничение по мощности дизеля для обеспечения кратковременного повышения скорости (на время допустимой перегрузки тяговых двигателей) при трогании автосамосвала.

Алгоритм управления работой электромеханической трансмиссии автосамосвала с учетом его весовой загрузки, разработанный специалистами Санкт-Петербургского государственного горного института (технического университета), предусматривает следующие режимы (рис. 4.10).

1. Поддержание заданного крутящего момента на моторколесах (тягового усилия) ($M$) с ограничением по мощности дизеля при трогании и разгоне автосамосвала с выдержкой по времени.

2. Поддержание заданной частоты вращения ($w$) тяговых электродвигателей (скорости самосвала) с ограничением по мощности дизеля до момента перехода его на максимальную мощность.

3. Поддержание мощности дизеля ($P$) на возможных или максимальных режимах работы в целях максимального использования его мощности.

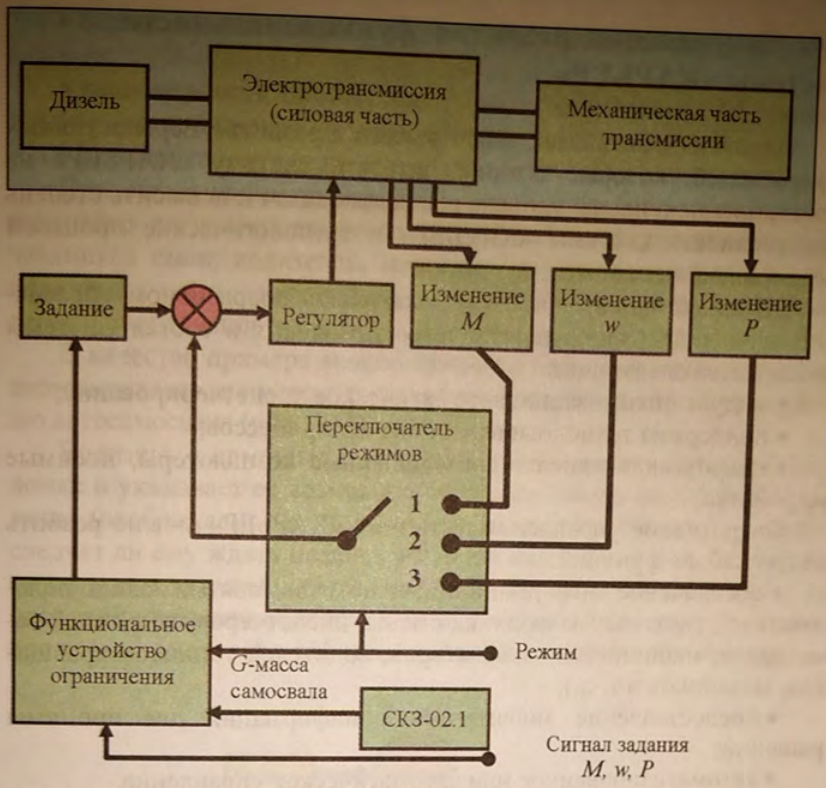



**Рис. 4.10. Алгоритм управления работой тягового привода автосамосвала с учетом весовой загрузки.**

Для управления работой электромеханической трансмиссией автосамосвала сигнал контроллера блока СКЗ-02.01 о весовой загрузке используется для изменения установки переключения режимов из «1» в «2», из «2» в «3» и наоборот.

Внедрение данного алгоритма в работу системы управления тяговым электроприводом позволит увеличивать предельное значение крутящего момента на мотор-колесах (тяговое усилие) в течение заданного времени в зависимости от весовой загрузки автосамосвала и максимального значения мощности дизеля в режимах ограничения и поддержания мощности, а следовательно, улучшить его тягово-динамические характеристики и увеличить ресурс тяговых электродвигателей, дизеля и генератора.

## 4.6. Направления развития функциональности системы «КАРЬЕР»

Одной из важнейших задач является развитие перспективных направлений, которые помогут вывести систему «КАРЬЕР» на принципиально новый уровень решаемых задач и повысить степень вовлеченности системы «КАРЬЕР» в технологические процессы предприятий-заказчиков.

Основной акцент при этом делается на оперативном управлении. Для поддержки оперативного управления в состав Системы добавляется следующее:

- модуль оптимизации, автоматическое диспетчерирование;
- поддержка технологических бизнес-процессов;
- графические панели, промышленные компьютеры, носимые устройства.

Оперативное управление в системе «КАРЬЕР» можно разбить на три набора функций:

- обеспечение информационных потоков, связывающих пользователей системы (начальника смены, диспетчеров, водителей самосвалов, машинистов экскаваторов, водителей топливозаправщиков, механиков и т. д.);
- предоставление аналитической информации для принятия решений;
- автоматизированное или автоматическое управление.

Последняя функция, реализуемая через модуль оптимизации, используется либо в начале, либо в течение смены. В первом случае вместо ручного распределения самосвалов по маршрутам диспетчеру следует просто нажать кнопку, и модуль сам распределит самосвалы в соответствии с заданными критериями оптимизации.

При другом варианте работы (в течение смены), который разумно совмещать с первым, модуль работает в реальном режиме времени. Он автоматически запускается при каждой разгрузке самосвала и выдает следующее задание водителю только что разгрузившегося самосвала. Таким образом, учитываются и устраняются отклонения от плана или других требований в течение смены.

Набор критериев оптимизации на содержит более 30 пунктов, среди которых, например, следующие:

- формирование заданного (одинакового или различного по выбору) содержания полезного компонента на всех перегрузочных складах;
- выполнение задания по добытой руде;
- равномерность производительности экскаваторов по часам;
- общий объем добытой экскаватором руды;

• близость паспортной и расчетной производительности экскаваторов;

• равномерность производительности экскаваторов (в процентах от реальной производительности);

• предпочтения экскаваторов (учет указаний диспетчера) и др.

При выполнении поддержки бизнес-процессов, определяемых как набор логически взаимосвязанных действий диспетчеров, начальников смен, водителей, машинистов экскаваторов и т.д., выполняемых для достижения определенного выхода бизнес-деятельности используется целый ряд алгоритмических модулей.

В качестве примера можно привести бизнес-процесс «поломка автосамосвала», а именно ту его часть, которая относится к водителю автосамосвала (рис. 4.11).

Водитель с помощью информационной панели сообщает о поломке и указывает ее возможную причину. Далее он получает указание (отображаемое на той же панели) о дальнейших действиях: следует ли ему ждать помощи на месте или ехать в цех. Допустим, он получает указание ждать механиков на месте. В этом случае по окончании ремонта водитель обязан сообщить диспетчеру о готовности автосамосвала к работе. Аналогично и при перегоне в цех.

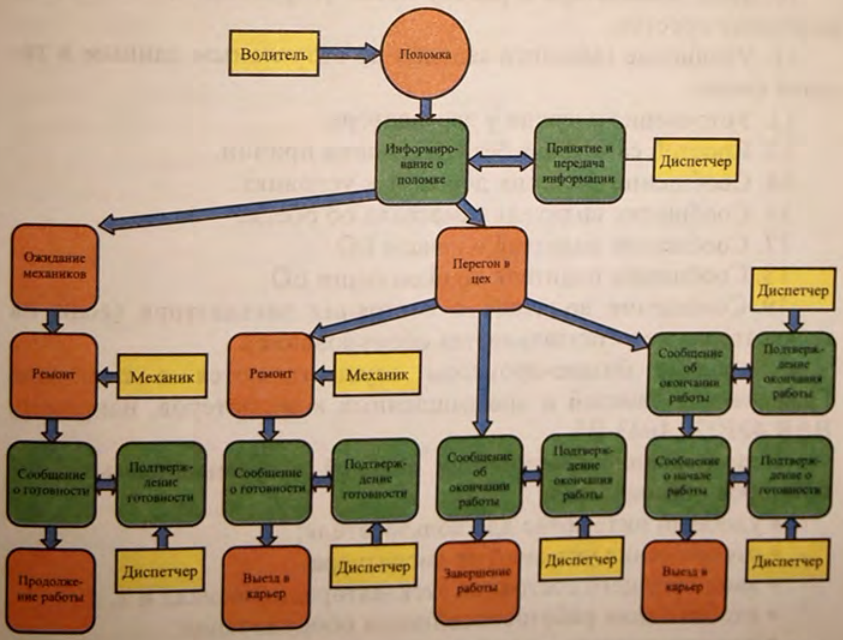



**Рис. 4.11. Алгоритм бизнес-процесса при ликвидации отказа автосамосвала на линии.**

При таком подходе функции всех участников бизнес-процесса (водителя, диспетчера, механика и прочих) точно описаны и согласованы с той аналитической информацией, которую дает система, а также позволяют использовать интеллектуальные возможности системы по оперативному управлению. Кроме того, все действия пользователей фиксируются в базе данных. Всегда можно узнать, что, как и когда происходило, в чем заключалось общение диспетчера с водителем в том или ином случае.

В системе «КАРЬЕР» возможна тонкая настройка и добавление новых бизнес-процессов. В качестве базового набора можно предложить следующие бизнес-процессы.

1. Планирование работы и выдача сменного задания.
2. Начало работы водителя.
3. Окончание работы водителя.
4. Получение задания (указания маршрута) на следующий рейс.
5. Поломка самосвала.
6. Ввод самосвала в работу после устранения поломки.
7. Начало работы машиниста экскаватора.
8. Окончание работы машиниста экскаватора.
9. Поломка или простой экскаватора.
10. Ввод экскаватора в работу после устранения поломки или окончания простоя.
11. Уточнение сменного задания по актуальным данным в течение смены.
12. Устранение очереди у экскаватора.
13. Простой самосвала без объяснения причин.
14. Сообщение о плохих дорожных условиях.
15. Сообщение водителя самосвала об обеде.
17. Сообщение водителя о начале ЕО.
18. Сообщение водителя об окончании ЕО.
19. Сообщение водителя о состоянии экскаватора (если на экскаваторах не устанавливается оборудование).

Указанные бизнес-процессы осуществляются с помощью Графических панелей и промышленных компьютеров, например, B&R 4PP220.1043-B5

Использование графических панелей и промышленных компьютеров обеспечивает:

- удобный интерфейс для пользователя;
- отображение указаний от диспетчера;
- ввод текущего состояния экскаватора, самосвала и т. д.;
- отображение работоспособности оборудования;
- для экскаватора – отображение геологической модели и положения экскаватора, планов работы.

Отдельная интересная возможность – это мобильный терминал. Начальник смены или горный мастер, находясь в карьере, может с его помощью получать оперативную статистику и управлять работой погрузочно-транспортных комплексов.

Отметим, что максимальную выгоду приносит одновременная реализация и использование всех трех наборов функциональности – автоматического и/или автоматизированного управления, поддержки бизнес-процессов и графических панелей и/или промышленных компьютеров.

# 5. СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

## 5.1. Цель и задачи мониторинга

Мониторинг в широком понимании этого слова – это систематические наблюдения за техническим объектом в процессе его использования, оценка состояния его узлов и прогноз их поведения в реальном масштабе времени.

В современных условиях прежние подходы к оценке работы машин по показателям в целом по парку уже не удовлетворяют предъявляемым требованиям: рыночные отношения и значительно возросшая стоимость машин требуют максимальной отдачи от каждой единицы оборудования, чего можно добиться лишь отслеживая в течение смены, суток, месяца, года ее работу. Это качественно новый этап в эксплуатации технологического оборудования, в частности самоходного и карьерных автосамосвалов, который требует применения инструментальных методов мониторинга и подготовки соответствующих квалифицированных кадров.

Целью мониторинга является получение объективной информации о работе машины в течение смены с целью принятия управленческих решений на различных уровнях должностной (функциональной) иерархии. В конечном счете результаты мониторинга какого-либо технического объекта позволяют, при правильном их использовании, существенно повысить эффективность эксплуатации оборудования, в первую очередь, за счет повышения его надежности в конкретных горно-технических условиях, коэффициента технического использования, своевременного выполнения профилактических мероприятий (ТО и Р), экономии энергозатрат.

Исходя из характеристик объекта мониторинга, необходимо выбрать надежный способ передачи информации от объекта в общую сеть рудника с учетом специфики эксплуатации погрузочно-доставочных машин.

Задачи мониторинга можно разделить на две группы.

1. Определение количественных показателей, характеризующих объемы выполненной машиной работы (т, $м^3$, км пробега), динамику их изменения в течение смены и расход энергии за этот период с определенной дискретностью во времени.

2. Определении показателей, характеризующих состояние машины в течение рабочей смены (работает, простаивает и пр.), а

также режимы ее работы – нагрузки на узлы, скорость передвижения, время рабочего цикла.

В эту же группу следует включить все сведения об отказах машины, времени и причинах их возникновения.

Структура показателей мониторинга и средства для его осуществления рассмотрены ниже для самоходного оборудования (погрузочно-доставочных машин), экскаваторов и карьерных автосамосвалов.

## 5.2. Мониторинг самоходного подземного оборудования (СО)

Погрузочно-доставочные машины (ПДМ) с точки зрения построения системы сбора и передачи информации характеризуются следующими особенностями:

- объект является полностью автономным, поэтому построение системы мониторинга затруднено из-за сложности установления связи с установкой, которая иногда практически невозможна;
- достаточно сложно спрогнозировать местоположение машины в пространстве в течение смены, что определяется большой разветвленностью и протяженностью горных выработок, а также использованием машин на проходческих и вспомогательных работах; постоянно перемещающийся фронт забоя при добычных работах также затрудняет связь и мониторинг установки;
- тяжелые условия эксплуатации механизмов, отсутствие качественных подземных дорог повышают требования к защите устройства от попаданий пыли, влаги и действия вибраций;
- отсутствие подземных гаражей, применение машин как с дизельным, так и с электрическим (ограниченным по дальности перемещения машины длиной кабеля питания) приводом делает невозможным подключение к устройству сбора информации, расположенном в одном определенном месте;
- ограниченные габариты машины выдвигают требования по компактности разрабатываемого устройства.

Общая структура системы мониторинга должна обеспечивать непрерывное поступление информации о работе СО в установленном объеме, проведение ее анализа с целью обеспечения установленного значения эффективности эксплуатации машин. В соответствии с основными процессами эксплуатации и особенностями работы СО структурная схема системы сбора информации в системе мониторинга приобретает вид (рис. 5.1)

Получение необходимой информации о работе СО происходит непосредственно с бортовых систем СО – либо в процессе непре-

рывной трансляции информации, либо в результате ее считывания со съемного накопителя.

В настоящее время эта информация поступает либо от оператора СО, либо от горного мастера.

Как было указано в первом разделе монографии, самоходное оборудование является основным видом технологического оборудования при добыче полезных ископаемых подземным способом. Погрузочно-транспортный комплекс представлен, в основном, ПДМ и в очень ограниченном объеме – самоходными вагонами.

В последние годы в СПГГИ (ТУ) выполнены комплексные исследования эксплуатации ПДМ на рудниках ОАО «Апатит», в результате которых разработаны структура, основные требования к системе мониторинга и предложены технические средства для его функционирования. Прежде всего было изучено влияние условий эксплуатации на работу ПДМ (рис. 5.2) и разработана структурная схема мониторинга (рис. 5.3).

Для подготовки базы мониторинга ПДМ были выполнены экспериментальные исследования на Расвумчоррском руднике ОАО «Апатит» в реальных условиях эксплуатации. Измерялась потребляемая мощность (рис. 5.4) и давление масла в штоковых и поршневых полостях гидроцилиндров ПДМ (рис. 5.5).

По приведенным осциллограммам можно отследить как нагрузочные режимы машины, так и ее состояние в течение смены: машина копает горную массу, движется с грузом, разгружается, движется порожняком и т. д. Если, например, давление масла в цилиндрах равно нулю, то машина простаивает. Время простоя видно на рис 5.4.

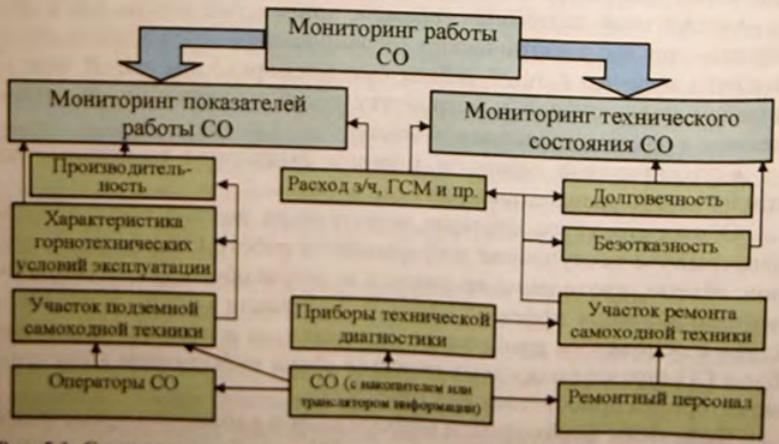



**Рис. 5.1. Структурная схема сбора информации в системе мониторинга СО.**

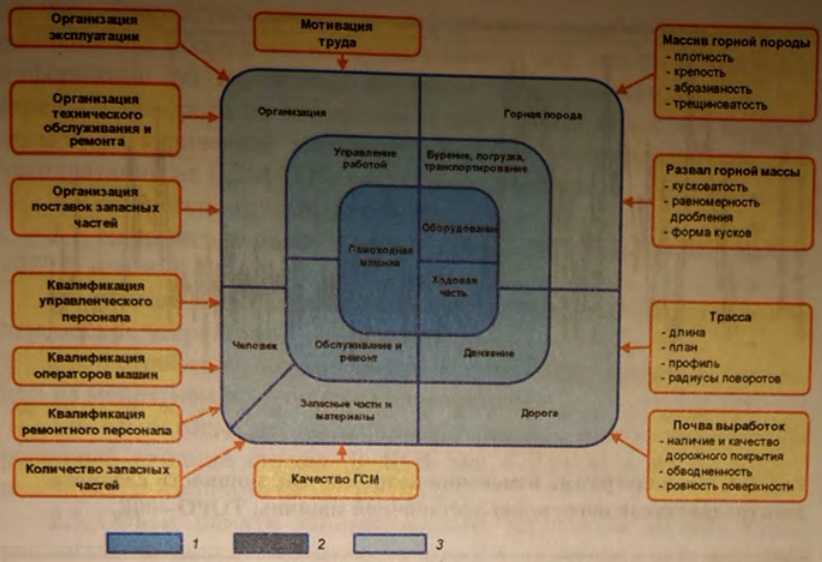



**Рис. 5.2. Схема влияния условий эксплуатации на эффективность работы самоходной машины.**

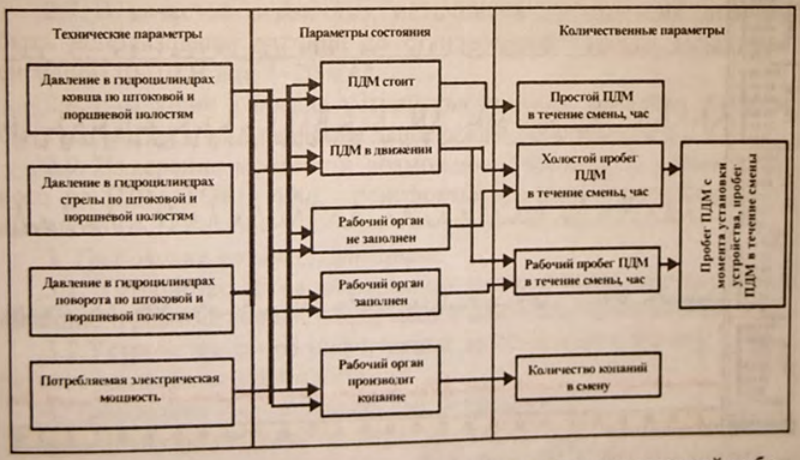



**Рис. 5.3. Структурная схема расчета количественных показателей работы ПДМ.**




**Рис. 5.4. Осциллограмма изменения потребляемой мощности главного электродвигателя погрузочно-доставочной машины ТОРО-400Е.**

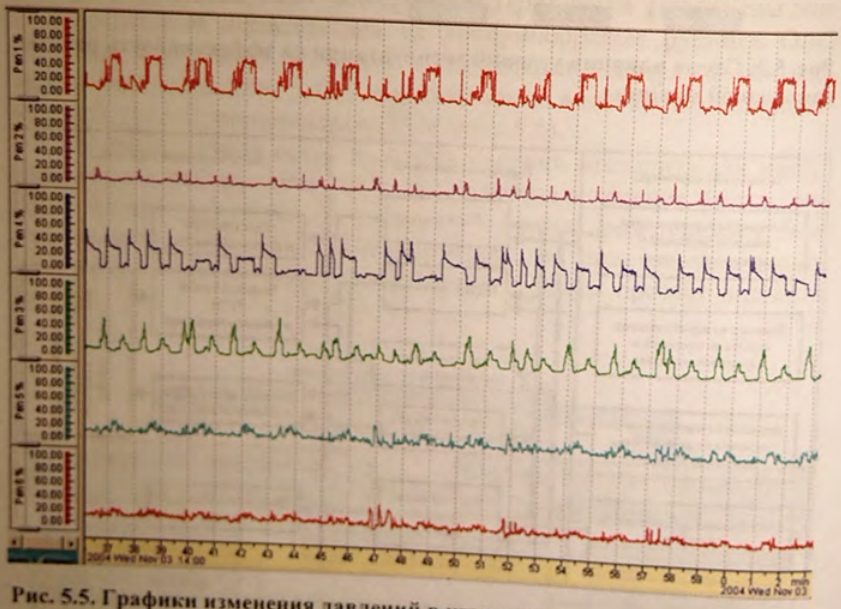


**Рис. 5.5. Графики изменения давлений в штоковых и поршневых полостях гидроцилиндров ПДМ.**

По величине нагрузок, используя специальную методику, можно прогнозировать остаточный ресурс узла, детали.

В результате разработано техническое задание на изготовление устройства для сбора и передачи информации о работе ПДМ.

1. *Назначение и область применения.*

1.1. Устройство для сбора информации о работе подземного самоходного оборудования предназначено для записи и хранения информации об изменении давлений в гидроцилиндрах ковша, стрелы и поворота по штоковым и поршневым полостям, потребляемой электрической мощности. Устройство предназначено для эксплуатации на ПДМ TORO 400E и ее аналогов.

2. *Технические характеристики.*

2.1. Напряжение питания – от бортовой сети ПДМ TORO 400E – ~220 В или = 24 В.

2.2. Запись информации должна производиться на компактное переносное устройство.

2.3. Устройство должно иметь возможность записи информации не менее, чем по 7 каналам одновременно.

2.4. Аналоговые входы устройства должны иметь стандартизированный входной сигнал (0–10 В или 4–20 мА) и иметь разрешающую способность не менее 10 бит.

2.5. Объем памяти запоминающего устройства должен быть рассчитан на запись в течение не менее 6 ч непрерывной эксплуатации.

2.6. Дискретность записи по каждому каналу должна составлять не менее 1 записи в 5 с.

2.7. В качестве первичных источников информации должны быть использованы датчики со стандартизированным выходным сигналом (0–10 В или 4–20 мА).

2.8. Входящие в состав устройства датчики давления должны быть рассчитаны на измерение давления до 200 Бар.

2.9. Измерение мощности возможно по сигналу с установленного на ПДМ TORO 400E трансформатора тока со стандартным выходом 5 А.

3. *Требования по автоматизации.*

3.1. Устройство сбора информации должно иметь световую индикацию о режиме записи информации и об окончании записи.

3.2.Устройство сбора информации должно иметь защиту от короткого замыкания в цепи питания.

4. *Требования к климатическому исполнению.*

4.1. Диапазон рабочих температур от 0˚ до +20 ˚С.

4.2. Относительная влажность – 95 % при +20 ˚С без конденсата.

4.3. Исполнение – УХЛ.

4.4. Категория помещения – 5.

4.5. Коэффициент запыленности – 5 мг/м$^3$.

4.6. Степень защиты:

4.6.1. Для датчиков – IP 67.

4.6.2. Для корпуса устройства – IP 56.

4.7. Высота установки над уровнем моря – до 2000 м.

4.8. Требования по защите от вибраций – по стандарту IEC 68-2-6, тест Fc.

4.9. Требования по защите от ударов – IEC 68-2-27, тест Ea.

5. *Требования к надежности.*

5.1. Коэффициент готовности – 0.98.

5.2. Среднее время восстановления – 20 мин.

5.3. Средняя наработка на отказ – 50 000 ч.

5.4. Непрерывный срок эксплуатации – 6 ч.

6. *Гарантия изготовителя.*

6.1. Гарантийный срок службы – 1 год.

6.2. Срок хранения – 2 года

6.3. Назначенный срок службы – 15 лет.

*Разработка устройства сбора информации* о работе самоходного оборудования

Основываясь на вышеперечисленных требованиях к устройству сбора первичной информации, а также учитывая тяжелые условия эксплуатации оборудования и ограниченные габаритные размеры механизма, был проведен сопоставительный анализ малогабаритных датчиков давления производства отечественных и зарубежных фирм, имеющих возможность измерения давления до 200 Бар. Из зарубежных фирм рассматривались датчики давления производства SIEMENS – серия Z и SCHNEIDER ELECTRIC – датчики давления NAUTILUS. Из отечественных – датчики давления производства компании МЕТРАН. Учитывая параметры и стоимостные показатели, предпочтение следует отдать датчикам NAUTILUS, технические характеристики которых приведены в табл. 5.1, а габаритные размеры – на рис. 5.6. Учитывая небольшую протяженность линий подключения датчиков, можно использовать датчик с выходом 0–10 В.

*Таблица 5.1*

**Технические характеристики датчиков давления NAUTILUS XMLF 250D 2115**

| № п/п | Параметр | Значение |
|---|---|---|
| 1 | Диапазон настройки, бар | 20–250 |
| 2 | Степень защиты (в соответствие с МЭК 60529) | IP 67 |
| 3 | Напряжение питания, В | 24 В постоянного тока (17–33 В) |
| 4 | Размеры датчика, В × Ш × Г, (мм) | 113 × 46 × 56 |
| 5 | Установка датчика | Штекер ¼ "BSP |
| 6 | Электрическое подключение | Разъем M12 |
| 7 | Полупроводниковый выход | 0–10 В (200 мА) |

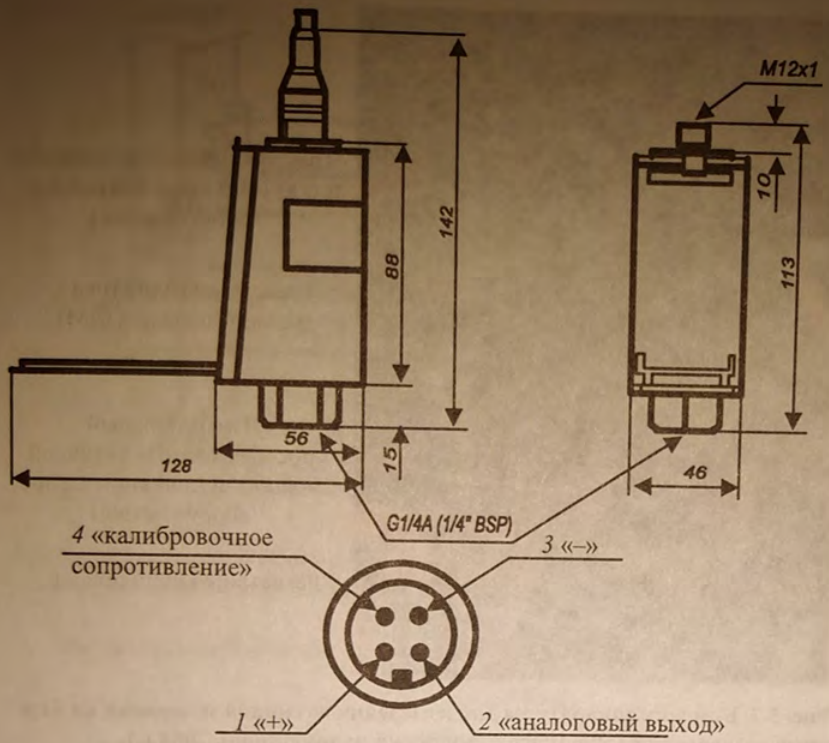



**Рис. 5.6. Датчик давления NAUTILUS XMLF 250D 2115 с выходным сигналом 0–10 В.**

Для измерения потребляемой ПДМ мощности есть две возможности:

1) применение измерительных преобразователей активной мощности трехфазного тока типа E 859/3;

2) вычисление активной мощности по информации о токе электродвигателя: так как установленный на ПДМ в качестве приводного асинхронный электродвигатель можно рассмотреть как симметричную нагрузку, достаточно использовать сигнал тока в одной фазе двигателя.

Применение преобразователей активной мощности, как показали измерения, проведенные на ПДМ Расвумчоррского рудника, дает достаточно точный результат, однако требует установки дополнительного оборудования – измерительных трансформаторов напряжения 660/100 В, которые являются нестандартным оборудованием. Кроме того, сам преобразователь и трансформаторы напряжения требуют наличия дополнительного защищенного места в корпусе ПДМ. Комплект оборудования, необходимый для установки на ПДМ в этом случае, представлен на рис. 5.7.

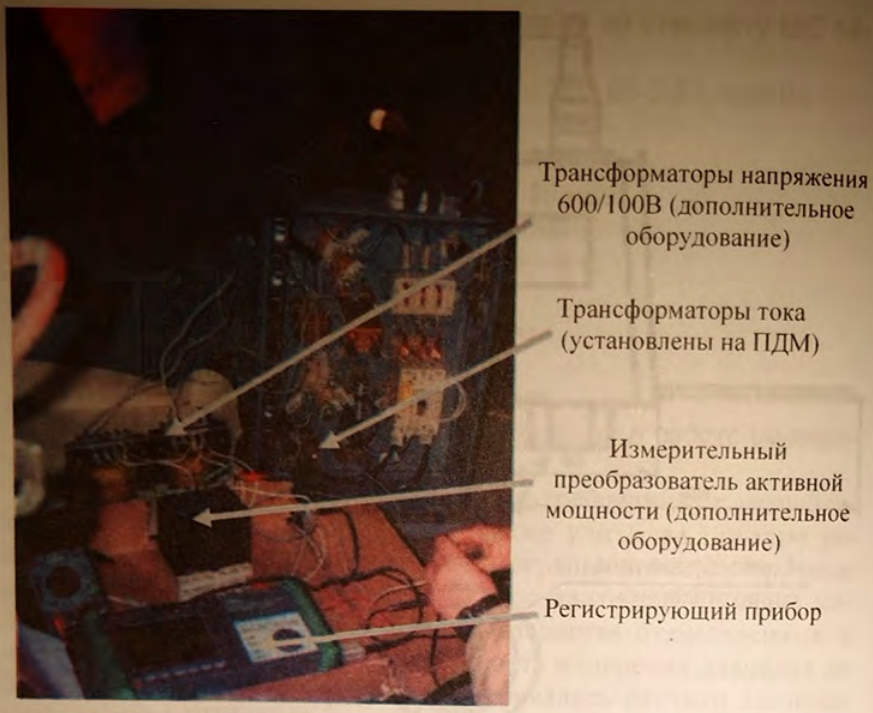



**Рис. 5.7. Комлект аппаратуры для измерения активной мощности на базе преобразователя E859/3 (Расвумчоррский рудник, июнь 2004 г.).**

Второй способ измерения активной мощности не требует установки дополнительного оборудования, а его точность достаточна для решения задачи мониторинга оборудования. На ПДМ TORO 400E установлены измерительные трансформаторы тока со стандартным выходом 5 А. Поскольку, вследствие небольшой длины измерительных линий, датчики давления были выбраны с выходным сигналом 0–10 В, для стандартизации блока ввода сигналов необходимо преобразовать сигнал трансформатора тока в сигнал, входящий в выбранный диапазон, то есть установить дополнительное сопротивление. Для того, чтобы трасформатор тока не вышел из класса точности, величина дополнительного сопротивления не должна превышать 0.4 Ом, тепловая мощность, рассеиваемая на сопротивлении, $P_p = I^2R = (5)^2 0.4 = 10$ Вт. При этом изменение напряжения на сопротивлении, пропорциональное изменению тока в силовой цепи приводного электродвигателя ПДМ, составит $0 \ldots U_{max} = IR = 5 \cdot 0.4 = 2$ В. Для увеличения надежности системы можно рекомендовать к установке сопртивления SQP-15 мощностью 15 Вт и сопротивлением проводника 0.4 Ом. Электрическая схема подключения приведена на рис. 5.8.

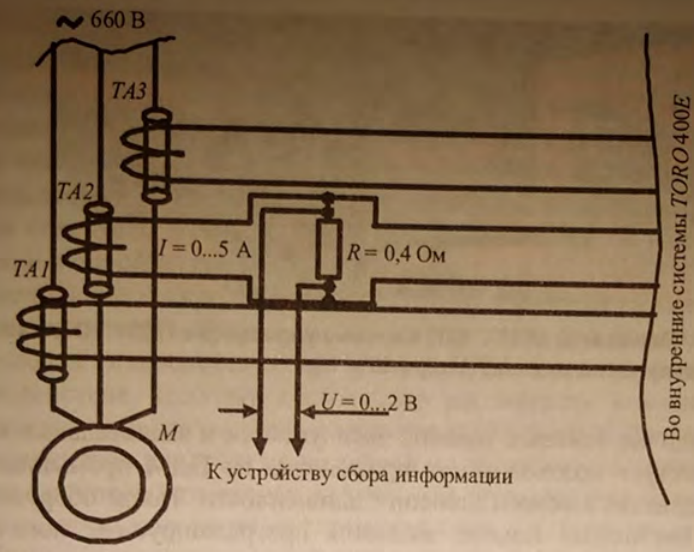



**Рис. 5.8. Схема согласования сигнала трансформатора тока одной из фаз электродвигателя с устройством сбора информации.**

Расчет активной мощности производится согласно выражению:

$$P_{ЭД} = \sqrt{3}\, U_{сети} I_{эд}(t)\cos\varphi,$$

где $U_{сети}$ – напряжение питания ПДМ; $U_{сети} = 660$ В; $I_{ЭД}$ – ток в обмотках электродвигателя; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности, зависящий от типа электродвигателя.

При выборе устройства сбора информации необходимо руководствоваться следующими требованиями.

Устройство записи информации должно обладать возможностью записи на компактный носитель высокой степени надежности. Дискретность записи информации должна составлять 1 Гц. При этом информация должна занимать небольшой объем памяти. Устройство должно иметь высокую надежность, защиту от воздействия окружающей среды, высокую вибростойкость.

Первоначально в качестве устройства сбора информации рассматривались электронные самописцы SIREC DM производства SIEMENS. В ходе проведения экспериментальных исследований данные устройства показали высокую возможность сжатия данных и хорошую работоспособность в условиях рудника (рис. 5.9), однако рекомендовать их к штатной установке на механизм не представляется возможным вследствие наличия постоянных значительных вибраций и ударных нагрузок при внедрении ковша ПДМ во фронт забоя. Однако данные устройства незаменимы при выполнении наладочных работ, экспериментальных исследований и тестировании аппаратуры.



**Рис. 5.9. Самописец SIREC DM в кабине управления ПДМ TORO 400E (Расвумчоррский рудник, ноябрь 2004 г.).**

Наличие тяжелых условий эксплуатации и значительных вибраций диктует необходимость применения на ПДМ промышленного оборудования высокой степени защищенности. Таким оборудованием в настоящий момент являются программируемые логические контроллеры (ПЛК). Анализ ПЛК ведущих фирм – производителей (SIEMENS, SCHNEIDER ELECTRIC, ROCKWELL, GE FANUC) показывает, что наилучшими возможностями с точки зрения записи и хранения информации на компактный носитель обладают контроллеры SCHNEIDER ELECTRIC – платформы автоматизации MODICON MICRO и PREMIUM, которые имеют возможность работы с PC-картой памяти до 128 Кслов. Контроллеры MICRO имеют возможность работы с PC-картой до 128 Кслов хранения файлов, контроллеры PREMIUM имеют карты памяти для хранения файлов до 128 Кслов, 256Кслов, 640 Кслов. Поэтому выбор того или иного типа контроллера определяется необходимым объемом памяти.

При необходимости получать информацию о работе ПДМ с дискретностью 1 запись в 5 с по семи каналам одновременно на PC-карту каждые 5 с необходимо записывать информацию объемом 2 слова, 210 слов в мин., 12600 слов в час. Принимая во внимание продолжительность добычной смены 6 часов, общий объем памяти должен составлять 75600 слов. Такой объем информации можно сохранить на PC-карте памяти 256 Кслов, с которой работают мощные контроллеры PREMIUM. Однако контроллеры данного класса имеют значительную стоимость (минимальный контроллер, имеющий возможность работать с картой памяти 256 Кслов, TSX P57 203M, стоит примерно 1800 €, сама PC-карта такого объема стоит примерно 1700 €. Кроме того, для функционирования контроллера необходим блок питания, установочное шасси, модуль аналогового ввода и дискретного вывода, которые для контроллеров данного класса имеют также значительную стоимость. Кроме того, широкие функциональные возможности контроллеров PREMIUM являются избыточными для построения системы мониторинга самоходного оборудования.

Контроллеры MICRO имеют возможность работы только с картами памяти ≤ 128 Кслов. Выбор данного контроллера диктуется его ценовыми показателями, компактными габаритными размерами, возможностью работы в тяжелых условиях. Но для его применения необходимо сократить объем записываемой информации. Достичь этого можно двумя путями: увеличить дискретность записи или сократить количество каналов, отказавшись от измерения давлений в одной из гидросистем машины.

Увеличение дискретности записи плохо отразится на достоверности получаемой информации вследствие того, что большинство процессов в гидросистемах при работе ПДМ имеют достаточное быстродействие. Поэтому необходимо рассмотреть возможность сокращения каналов записи, отказавшись от записи давления в гидроцилиндрах поворота по штоковой и поршневой полостям. Для системы мониторинга данная информация не имеет существенного значения, поскольку несет информацию лишь о количестве поворотов. Тогда объем записываемой информации по 5 каналам составит 90 000 слов за 6 часов работы, что вполне укладывается на PC-карту памяти объема 128 Кслов.

Для установки на ПДМ следует рекомендовать ПЛК MICRO TSX 37 22 001, адаптированный для работы с аналоговыми сигналами, технические характеристики которого приведены в табл. 5.2, а общий вид контроллера представлен на рис. 5.10.

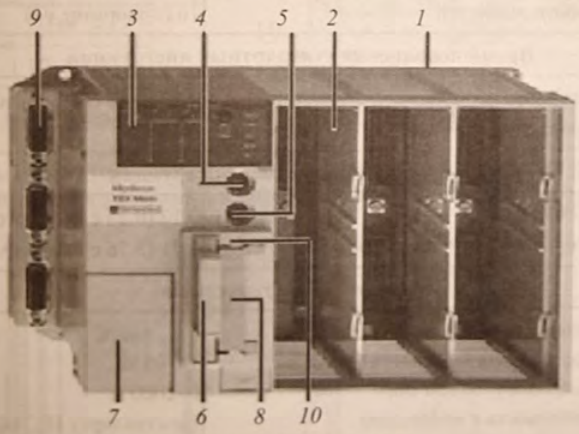



**Рис. 5.10. Общий вид ПЛК MICRO TSX 37 22 001.**

*1* – базовое шасси контроллера на 3 слота; *2* – слот, зарезервированный для модуля стандартной высоты; *3* – центральный блок индикации; *4* – вход для подключения терминала программирования (протокол Uni-Telwey или Modbus); *5* – порт для подключения панели человеко-машинного интерфейса; *6* – слот для установки карты памяти; *7* – крышка клемм блока питания; *8* – слот для модуля связи; *9* – разъемы для подключения интегрированных аналоговых и счетных функций; *10* – кнопка сброса.

*Таблица 5.2*

**Технические характеристики ПЛК MICRO TSX 37 22 001**

| № пп | Параметр | Значение |
|---|---|---|
| 1 | Максимальное количество входов/выходов (без использования удаленных входов/выходов) | 160-на клеммную колодку<br>248 – на спец.разъем |
| 2 | Максимальное количество аналоговых каналов | 4 (не более 32 входов или 16 выходов) |
| 3 | Количество интегрированных каналов аналогового ввода | 9 (8 входов и 1 выход) |
| 4 | Интегрированные каналы связи | 1 канал RS 485 (Uni-Telwey Modbuse) |
| 5 | Количество PC-карт памяти | 1 |
| | **Память** | |
| 6 | Внутренне ОЗУ с возможностью резервного копирования | 20 Кслов |
| 7 | PC-карта памяти | 32/64+128 хранения файлов) |
| | **Структура приложений** | |
| 8 | Главная задача | 1 |
| 9 | Быстрая задача | 1 |
| 10 | Обработка событий | 16 (приоритет у1) |
| | **Время исполнения стандартных инструкций** | |
| 11 | Булевых инструкций | 0.13 (0.19 с PC-картой) μs |
| 12 | Цифровых инструкций | 4.50 μs |
| | **Время выполнения 1000 инструкций** | |
| 13 | 100% булевых | 0.17 (0.25 с PC-картой) μs |
| 14 | 65% булевых, 35% цифровых | 3.71 (3.76 с PC-картой) μs |
| | **Внешние характеристики** | |
| 15 | Рабочая температура | 0 … +60°C |
| 16 | Относительная влажность | 10–95 % |
| 17 | Высота над уровнем моря | 0–2000 м |
| 18 | Устойчивость к вибрациям | По стандарту IEC 68-2-6, тест Fc |
| 19 | Устойчивость к ударам | По стандарту IEC 68-2-6, тест Fa |
| 20 | Напряжение питания | ≈100–240 В |

В качестве носителя информации принимаем PCMCIA карту памяти с возможностью хранения информации 128 Кслов TSX MFP 246P. Для ввода сигналов от датчиков давления и токового сигнала возможно использование модуля аналогового ввода TSX AEZ 801 на 8 каналов с входным диапазоном 0–10 В, –10 В … +10 В. Аналогово-цифровое преобразование выполняется в модулях с точностью 11 бит+знак. Полное входное сопротивление – 2.2 Ом. Для индикации режима записи и контроля окончания записи используем модуль дискретного выхода TSX DSZ04T22 на 4 канала, с выходным напряжением 24 В постоянного тока (2 А) и минимальным полным сопротивлением нагрузки 12 Ом.

Выбранные входные и выходные модули устанавливаются на общее базовое шасси контроллера, габаритные и монтажные чертежи которого представлены на рис. 5.11 и 5.12, а нормативные требования к охлаждению – на рис. 5.13.

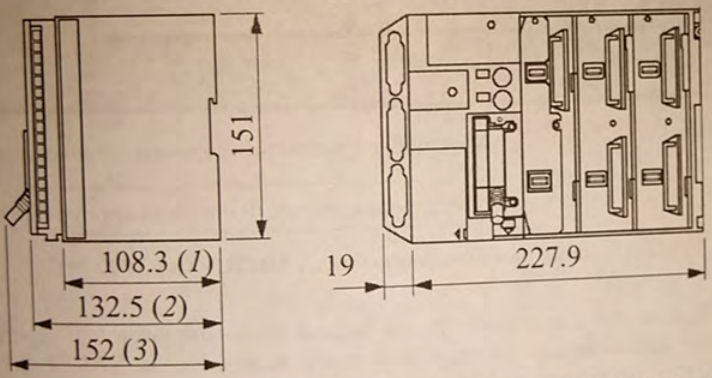
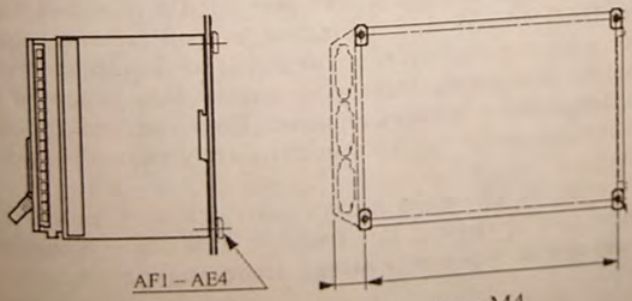



**Рис. 5.11. Габаритные размеры ПЛК MICRO TSX 37 22 001 ПЛК без модулей, с винтовыми клеммными колодками и со специальными разъемами.**




Отверстия под крепежные винты M4

**Рис. 5.12. Монтажные размеры ПЛК MICRO TSX 37 22 001.**

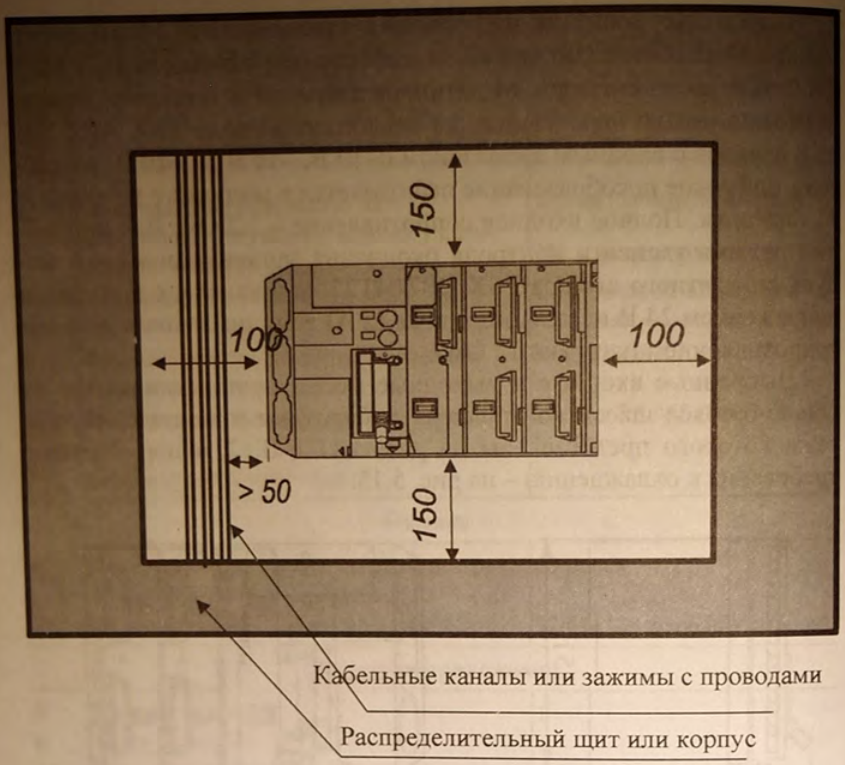



**Рис. 5.13. Требования по охлаждению к ПЛК MICRO TSX 37 22 001.**

Для защиты контроллера от воздействия окружающей среды можно использовать стандартный шкаф производства SAREL SAR 83 023, габаритные размеры которого 500 × 400 × 200 (В × Ш × Г) полностью удовлетворяют требованиям к охлаждению ПЛК MICRO TSX 37 22 001.

Предложенная система мониторинга ПДМ передана для реализации ОАО «Апатит». Естественно, в процессе внедрения может потребоваться некоторое уточнение технических решений, проведение дополнительных проверочных экспериментов уже с установленными на машину опциями. Но в том, что эта система решает поставленные задачи и может быть успешно реализована, сомнений нет.

Эта система пригодна практически для всех типов ПДМ с электрическим приводом. Для машин с дизельным приводом необходимо ее адаптировать, изменив некоторые схемные решения.

## 5.3. Мониторинг карьерных автосамосвалов

### 5.3.1. Задачи мониторинга

Мониторинг карьерных автосамосвалов должен охватывать их работу как технологических средств на линии, так и техническое состояние бортовых узлов и систем для обеспечения работоспособности машин. Практически все системы управления ГТК с автотранспортом, имеют оборудование, позволяющее выполнить мониторинг автосамосвалов только на линии, т.е. при выполнении технологических операций при перемещении горной массы от забоев до приемных пунктов. Задачи мониторинга карьерных автосамосвалов, по существу, те же, что и для ПДМ, и включают:

- контроль и учет работы на технологической трассе;
- контроль текущего состояния бортового оборудования, узлов и систем автомобилей.

Мониторинг автосамосвалов может осуществляться как средствами автоматизированной системы управления, так и с помощью специального диагностического оборудования.

Решение первой задачи контроля и учета работы автосамосвалов на технологической трассе в системе управления «КАРЬЕР» обеспечивается с помощью бортового оборудования системы контроля загрузки и топлива (СКЗиТ).

В Системе «КАРЬЕР» предусмотрен контроль текущего состояния оборудования, узлов и систем карьерных автосамосвалов:

- бортовых датчиков системы диспетчеризации (целостность системы);
- двигателей автосамосвалов БелАЗ и Komatsu (техническое состояние);
- шин колес автосамосвалов (контроль давления);
- системы управления тяговым электроприводом (СУТЭП) автосамосвалов БелАЗ (параметры и техническое состояние при установке опции удаленного мониторинга).

В принципе, удаленная диагностика может быть введена для любого типа оборудования, если на нем установлен контроллер для сбора информации и описан интерфейс по работе с ним, например, для экскаваторов или колесных погрузчиков.

### 5.3.2. Контроль и учет работы карьерных самосвалов на технологической трассе

Опыт внедрения систем контроля расхода топлива автосамосвалов показывает, что каким бы совершенным ни был механизм нормирования топлива, всех особенностей эксплуатации он учесть

не может. Кроме того, существует реальная возможность для несанкционированного слива топлива. Поэтому для учета и контроля расхода топлива целесообразно оснащать автосамосвалы соответствующими датчиками.

«ВИСТ Групп» предлагает несколько типов датчиков для установки в бак самосвала. Наиболее соответствующий конкретным техническим условиям датчик выбирается на этапе технического проектирования.

При функционировании автоматизированной системы управления с использованием датчиков уровня (давления) топлива решаются следующие задачи:

- автоматическое определение уровня топлива в любой момент времени;
- фиксация уровня топлива на начало и конец смены при приеме сообщения водителей о пересмене;
- определение объема заправки (слива) по изменению уровня топлива.

Для решения этих задач автосамосвалы оборудуются системой контроля загрузки и топлива.

Кроме контроля топлива СКЗиТ выполняет:

- измерение массы перевозимого автосамосвалом груза при помощи датчиков давления в цилиндрах подвески и бортового контроллера;
- выдачу сигналов (включение фонарей шкалы загрузки) машинисту экскаватора о достижении самосвалом оптимальной загрузки (с целью предотвращения недогруза и перегруза автосамосвала);
- автоматический сбор и хранение в журнале регистрации рейсов информации о дате и времени каждой загрузки, масса груза, пробеге, объеме грузоперевозки (в тонно-километрах) и номере водителя, осуществлявшего этот рейс (или номере смены);
- автоматический сбор и передача в диспетчерский центр информации о транспортном средстве (масса груза, количество топлива, координаты, скорость и т. п.);
- обеспечение дополнительных сервисных функций например, упрощение процедуры заправки цилиндров подвески азотом и др.

Системы контроля загрузки и расхода топлива СКЗиТ включает в себя (рис. 5.14):

- бортовой контроллер СКЗ-02.01;
- датчик уровня топлива в баке УТ-90;
- инклинометр ИК-02 (датчик угла наклона автосамосвала в продольном направлении);
- комплект бортовой оснастки, включающий, в частности, сигнальные фонари для индикации текущей загрузки оператору экскаватора;





Рис. 5.14.

- датч
- пане

Суще
датчиков
ловых дат
автосамос
адаптиров
сти и разл

Обору

Бортов
датчики д
датчик уро
ем платфо
нал с датч
Кроме это
диспетчеро
мацию от
установлен

На пане
- масса
- колич
- скоро
- пробе
- контро

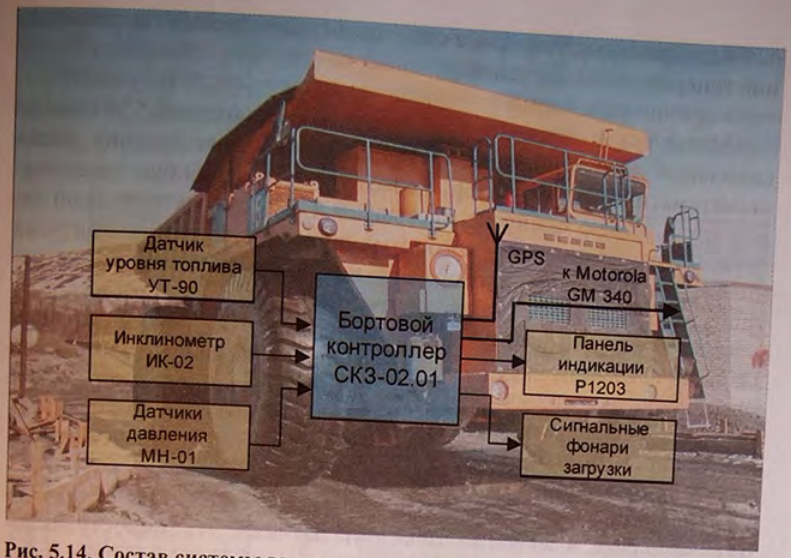



**Рис. 5.14. Состав системы загрузки и топлива (СКЗиТ).**

- датчики давления в подвесках МН-1 (4 шт.);
- панель индикации Р1203.

Существует другой вариант СКЗиТ, отличающийся составом датчиков для определения загрузки: в системе используется 4 силовых датчика ДЗ-20, смонтированных в технологическом пальце автосамосвала. Система контроля загрузки и топлива может быть адаптирована для транспортного средства любой грузоподъемности и различных производителей.

Оборудование СКЗиТ функционирует следующим образом.

Бортовой контроллер примерно 10 раз в секунду опрашивает датчики давления в подвесках или силовые датчики самосвала, датчик уровня топлива и инклинометр, фиксирует сигналы «подъем платформы», «ход вперед», «ход назад», «сборка схемы», сигнал с датчика вращения колеса и информацию с GPS приемника. Кроме этого, контроллер принимает и обрабатывает информацию диспетчерского центра, поступающую по радиоканалу, и информацию от водителя, вводимую с функциональной клавиатуры, установленной в кабине.

На панели в кабине водителя постоянно отображаются:

- масса груза;
- количество рейсов с начала смены;
- скорость движения;
- пробег груженого и порожнего самосвала за каждый рейс;
- контрольная информация об исправности системы;

• специальные текстовые сообщения, посылаемые диспетчером или генерируемые системой;

• прочие параметры.

Масса груза определяется с точностью не менее 2.5 % от максимальной загрузки автосамосвала. Ошибка взвешивания носит несистематический характер, поэтому средняя ошибка взвешивания груза за всю смену не превышает 1–2% от максимальной загрузки. Для оптимизации алгоритма применяется датчик контроля положения грузовой платформы и инклинометр (датчик угла наклона автосамосвала в продольной оси).

В СКЗиТ применяется наружная световая индикация степени загрузки автосамосвала, которая позволяет машинисту экскаватора контролировать степень загрузки (для исключения перегруза) по сигнальным фонарям самосвала. Кроме того, имеется возможность контролировать угол наклона площадки при погрузке, что увеличивает точность определения веса груза.

Точность определения уровня топлива в баке составляет 1–3 % от объема бака, в зависимости от типа датчика. Эта точность достаточна для исключения несанкционированного слива топлива и определения расхода топлива за смену. Для определения удельного расхода топлива по определенному маршруту используются усредненные данные по нескольким рейсам.

### 5.3.3. Контроль технического состояния оборудования, узлов и систем карьерных самосвалов

#### 5.3.3.1. Диагностика бортового оборудования системы диспетчеризации

В Системе «КАРЬЕР» предусмотрена возможность прямо на рабочих местах пользователей диспетчерского центра оперативно наблюдать техническое состояние оборудования мобильных объектов и контролировать параметры работы, а также нарушения в их функционировании. На рис. 5.15. приведена структурная схема диагностирования узлов и систем автосамосвалов. На рис. 5.16 показан вид окна диагностики и мониторинга технического состояния объектов Diagnostics.

Удаленная диагностика собственного бортового оборудования системы диспетчеризации «КАРЬЕР» обеспечивает не только контроль технического состояния датчиков, но и помогает предприятиям бороться с несанкционированным сливом топлива и умышленными повреждениями оборудования. Например, если обнаруживается, что датчик уровня топлива вышел из строя, то можно установить, где находился в этот момент самосвал, двигался ли он или стоял, кто был водитель в данную смену. Таким образом зна-



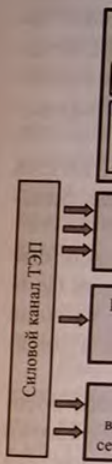



Рис. 5.15. С
свалов.



Рис. 5.16. Вид
объектов Dia

чительно легче доказать умышленную порчу оборудования, а значит, и уменьшить количество таких случаев.

Важно отметить, что диспетчерские системы зарубежного производства, как правило, не ориентированы на решение подобных задач.

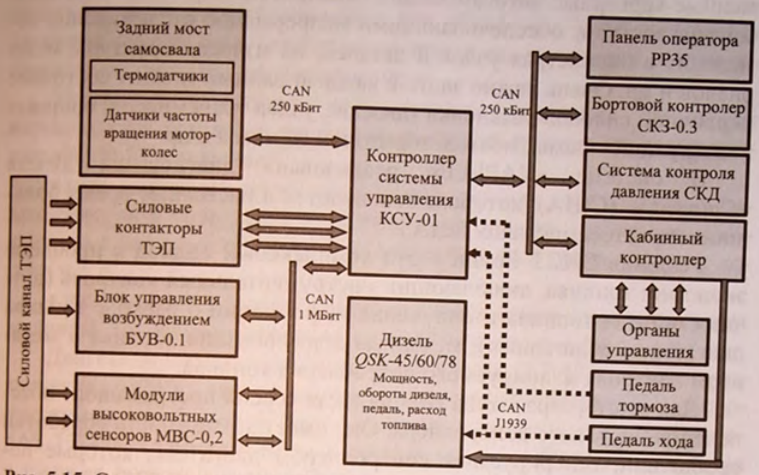



**Рис. 5.15. Структурная схема диагностирования узлов и систем автосамосвалов.**

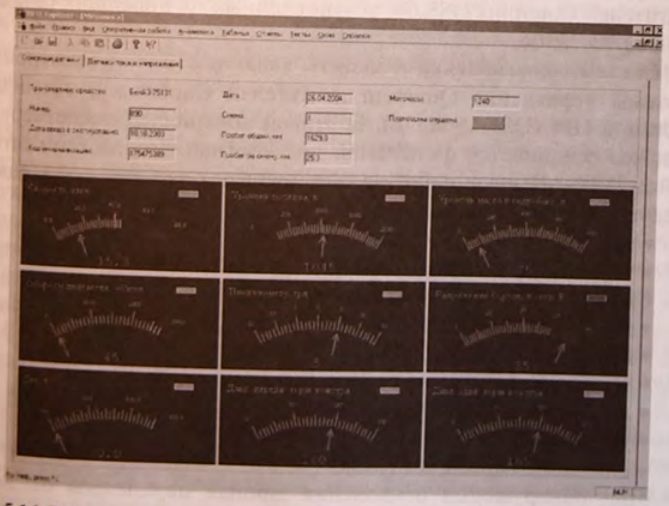


**Рис. 5.16. Вид окна диагностики и мониторинга технического состояния объектов Diagnostics.**

### 5.3.3.2. Мониторинг технического состояния двигателей карьерных автосамосвалов БелАЗ и «Comatsu»

Для обеспечения работоспособности автосамосвалов, увеличения его ресурса и предупреждения аварийных отказов узлов современные карьерные автосамосвалы оснащаются бортовыми системами диагностики, обеспечивающими непрерывное отслеживание изменения в параметрах узлов и деталей, их износа, структуры материалов и пр. Очень важно знать в каждый данный момент состояние первичной силовой установки (дизеля), узлов трансмиссии, опорных конструкций – рамы, мостов, тормозной системы и пр.

В системе «КАРЬЕР» реализована диагностика дизеля «Cummins» (США), которым оснащаются в настоящее время большинство автосамосвалов БелАЗ

Решения ВИСТ Групп – это комплексный подход к проблеме экономии топлива, включающий инструментальный контроль (датчики остатка топлива и получение информации о расходе топлива двигателем «Cummins»), механизм нормирования топлива и механизм контроля планируемого потребления топлива.

Для этого разработана специальная версия программного обеспечения бортового контроллера. Она имеет возможность обработки сообщений, генерируемых контроллером двигателя, которые поступают через CAN-интерфейс на блок контроллера СКЗ-02.01.

Предполагается также установить подсистему диагностики двигателей Cummins QSK60, установленных на новейших самосвалах БелАЗ-75306.

Системы диагностики и защиты являются частью электронной системы управления Quantum двигателей Cummins с топливной системой HPI (QSK45/60/78). Бортовой контроллер диспетчерской системы соединяется с системой диагностики посредством интерфейса J1939. Данные системы обеспечивают защиту двигателя по следующим параметрам:

- частоте вращения коленчатого вала;
- температуре топлива на входе в двигатель;
- давлению в системе охлаждения;
- температуре охлаждающей жидкости;
- давлению воздуха во впускном коллекторе;
- температуре воздуха во впускном коллекторе;
- давлению в системе смазки;
- уровню масла в картере двигателя;
- давлению картерных газов.

При обнаружении отклонения данных параметров от номинальных значений система защиты Cummins обеспечивает снижение мощности двигателя и частоты вращения коленчатого вала без

остановки двигателя. Остановка двигателя производится только по команде оператора (водителя) после остановки карьерного самосвала в безопасном месте.

Кроме указанных выше, системы диагностики и защиты двигателей Cummins контролируют еще несколько десятков параметров, включая текущее потребление топлива. Список параметров, передаваемых в диспетчерский центр для обработки, согласовывается во время работы над Техническим проектом внедрения автоматизированной системы диспетчеризации.

Удаленный мониторинг технического состояния двигателей карьерных самосвалов в автоматизированной системе диспетчеризации «КАРЬЕР» включает:

- периодический опрос параметров системы диагностики и сохранение их в базе данных системы для анализа информации совместно с данными о маршрутах движения, весе груза, уклонах дороги и т. п.;
- фиксацию отклонений значений параметров от номинальных значений и информирование об этом ответственных лиц.

Двигатели с системой управления Centry (KTA50/K2000E), устанавливаемые на карьерные самосвалы производства РУПП Белорусский автомобильный завод (например, на самосвалы марки БелАЗ 75131), не оборудованы системой защиты. Контроль давления в системе смазки и температуры охлаждающей жидкости на этих двигателях осуществляется при помощи датчиков, контрольно-измерительных приборов и сигнальных устройств, устанавливаемых заводом-изготовителем. Подключение же данных датчиков к системе сбора информации автоматизированной системы диспетчеризации весьма проблематично.

В то же время фирмой Cummins на базе электронного модуля CM530 разработана и серийно выпускается система комплексной диагностики двигателя Cense, которой могут быть оборудованы как двигатели KTA50/K2000E, так и QSK45/60/78. Данная система позволяет не только существенно расширить возможности системы управления Quantum, но и обеспечить наиболее полную диагностику, контроль и защиту двигателей (при условии оснащения их дополнительными исполнительными устройствами).

Система комплексной диагностики двигателя Cense может устанавливаться на заводе-изготовителе двигателей или при проведении капитальных ремонтов.

В отличие от карьерных автосамосвалов БелАЗ самосвалы Komatsu оснащаются различными версиями системы диагностики двигателя STATEX. Особенность данной системы в том, что она является комплексной системой диагностики автосамосвала и обрабатывает множество параметров. Большинство из них не требуется

оперативно передавать по радиоканалу для обработки в систему диспетчеризации. На практике список передаваемых параметров, их допустимые номинальные границы согласовываются во время проведения инженерного обследования и составления технического проекта внедрения автоматизированной системы диспетчеризации.

### 5.3.3.3. Контроль давления в шинах колес автосамосвалов

При эксплуатации автосамосвалов весьма важно контролировать давление в шинах колес. Для этих целей разработано специальное устройство – система контроля давления (СКД). Это совместная разработка РУПП «Белорусский автомобильный завод» и УП «Сенсор-Плюс» для карьерной техники. Она предназначена для автоматического контроля давления в шинах автомобиля и в случае возникновения аварийной ситуации выдает водителю световой и звуковой предупреждающие сигналы о состоянии колес. Кроме того, система фиксирует также дату и время возникновения и устранения аварии.

СКД состоит из базового блока, монтируемого на панель приборов, и передающих модулей, которые устанавливаются на колесах автомобиля.

Микропроцессор передающего модуля преобразует сигнал от сенсора давления в цифровой помехозащищенный код, который содержит информацию о номере колеса и значении давления в шине. С помощью передатчика данные телеметрии по радиоканалу передаются в базовый блок, процессор которого их декодирует, обрабатывает и отображает значение давления воздуха на цифровом индикаторе. В случае отклонения давления от заданного интервала процессор базового блока выдает аварийный сигнал, предупреждающий водителя о возникновении внештатной ситуации. Кроме того, система хранит сведения о последних десяти случаях возникновения аварийных ситуаций с шинами в виде: номер колеса / значение давления / дата / время поступления аварийного сигнала / время ликвидации аварийной ситуации. Эти данные позволяют контролировать действия водителя при устранении причин аварии. Телеметрическая информация с помощью CAN интерфейса базового блока и бортовой радиостанции может быть передана в диспетчерский центр.

Система контроля давления позволяет предотвратить преждевременный выход из строя или полное разрушение шины в результате падения или увеличения давления. Эксплуатация шин с отклонением давления в ту или иную сторону приводит к ускоренному их износу, а также повышенному расходу топлива.

Система имеет следующие эксплуатационные характеристики:

- температура окружающего воздуха от –40 до +65 °С (температура хранения – до –60 °С);

• сохраняет работоспособность при относительной влажности воздуха до 100 % (при температуре +25 °С и атмосферном давлении от 84 до 107 кПа.

Система может выдерживать воздействие механических перегрузок:

• синусоидальной вибрации с частотой 1–500 Гц и амплитудой ускорения до 5 g;

• одиночных ударов с пиковым ударным ускорением до 15 g и длительностью – воздействия ударного импульса 5–10 мс.

Давление воздуха в шинах контролируется в диапазоне от 0.3 до 1 МПа.

Передающий модуль имеет автономное питание.

Мощность передатчика – не более 10 мВт.

Конструкция ПМ имеет степень защиты IP 67 согласно ГОСТ 14254-96.

Конструкция базового блока имеет степень защиты IP 50 согласно ГОСТ 14254-96.

Срок эксплуатации системы – не менее 100000 тыс.ч, или примерно 1.0 млн км пробега.

Другим эффективным инструментом повышения уровня безопасности и экономии на горнодобывающем предприятии является система контроля давления в шинах производства компании Advantage Pressure Pro (США).

Предлагаемая система позволяет бесконтактным способом определить, соответствует ли давление в шинах установленной норме. В состав системы входят датчики, разработанные компанией General Electric, и панель. На сегодняшний день эта система активно используется более чем в 20 странах. В России она уже больше года работает на Ковдорском ГОКе. В результате использования Системы средний пробег шин 33.00-R51 за год увеличился на самосвалах БелАЗ-75131 на 6 %, на самосвалах КАТ-785 на 5.9 %. На магистральных грузовиках шины за год прошли по 115.000 км и продолжают эксплуатироваться.

В настоящее время система внедряется в компании СУЭК, Стойленском ГОКе, ОАО «Алдамзолото» и на других горных предприятиях в составе системы управление ГТК «КАРЬЕР».

Среди основных преимуществ системы – простота установки (установка системы на 6 колес занимает меньше 15 мин), высокая точность измерения (до 3 %), широкий диапазон давления (от 0.7 до 10.5 атм.), два порога срабатывания (–12.5 и –25 %), небольшой вес и габариты компонентов системы, широкий диапазон рабочих температур (от –400 С до +600 С). Система работает при любой скорости движения машины. При нормальном давлении обновление данных происходит каждые 5 минут. При падении давления –

каждые 7 секунд. Немаловажно также и то, что данная система сертифицирована для российского рынка.

Водитель, использующий систему, получает возможность отслеживать давление в шинах, как перед рейсом, так и в течение смены, что в значительной степени повышает безопасность работы в карьере.

Использование системы контроля давления в шинах на горнодобывающем предприятии позволяет повысить безаварийность рейсов, снизить расходы на шины и топливо, повысить уровень эксплуатации автотранспорта в карьере.

В настоящее время в ЗАО «Черниговец» система контроля давления в шинах интегрирована с бортовым контроллером СКЗ 02.01 системы диспетчеризации «КАРЬЕР», информация о давлении в шинах непрерывно передается в диспетчерский центр предприятия.

### 5.3.3.4. Контроль параметров Системы управления тяговым электроприводом карьерных самосвалов БелАЗ

Автосамосвалы БелАЗ с электромеханической трансмиссией переменно-постоянного тока составляют значительную долю парка карьерной техники горнодобывающих предприятий. Ранее они оборудовались аналоговой и цифро-аналоговой системами управления. Эти системы создавались по принципу так называемой жёсткой логики на аналоговых и цифровых радиоэлементах и не обеспечивали возможность удаленной диагностики тягового электропривода.

Одной из важных функций диспетчерских систем является непрерывный контроль параметров тягового электропривода и оценка технического состояния карьерных автосамосвалов во время работы на технологических линиях. В настоящее время оперативный контроль параметров и режимов работы тягового электропривода автосамосвалов БелАЗ в Системе «КАРЬЕР» не осуществляется. Однако удаленный мониторинг параметров тягового электропривода возможен благодаря применения в системах управления автосамосвалов программируемых контроллеров. На рис. 5.17 показаны параметры погрузочных режимов электротрансмиссии автосамосвалов. Здесь $F$ (кН) – развиваемая сила тяги, $\upsilon$ (км/ч) – скорость движения, $I$ (А) – ток тягового электродвигателя.

Удаленная диагностика параметров СУТЭП может быть реализована путем передачи соответствующей информации через CAN-интерфейс в бортовой контроллер СКЗ-02.01. При этом в диспетчерский центр по радиоканалу могут передаваться следующие параметры:

- скорость движения автосамосвала;
- обороты дизеля;
- режим работы тягового электропривода;

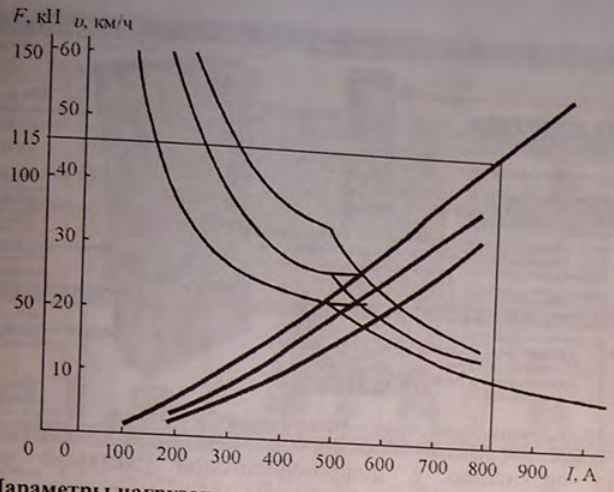



**Рис. 5.17. Параметры нагрузочных режимов электротрансмиссии автосамосвалов.**

- ток силовой цепи;
- напряжения на выходе силовых выпрямителей;
- мощность, отбираемая на тягу;
- напряжение цепи в режиме электродинамического торможения;
- частота вращения мотор-колес;
- информация о срабатывании защит (код защиты, время срабатывания, значение параметра, вышедшего за допустимый диапазон) и др.

Современная система управления тяговым электроприводом СУТЭП-01 на основе промышленных контроллеров Bernecker&Rainer была разработана специалистами «ВИСТ Групп» совместно с УП «ЭНТАС» (г. Минск) и РУПП «Белорусский автомобильный завод». Она устанавливается на карьерные автосамосвалы грузоподъемностью от 120 до 220 т (модели БелАЗ 75145, 75131 и 75306) и обеспечивает:

- автоматическое управление тяговым электроприводом автосамосвала в статическом и динамическом режимах его работы;
- визуальный контроль параметров электропривода, что значительно упрощает диагностику его отказов;
- идентичность аппаратуры режимной автоматики для различных моделей самосвалов.

Основой СУТЭП-01 являются шкаф электронной системы управления ЭСУТЭП на программируемом контроллере B&R, модули высоковольтных сенсоров МВС-01, блок управления возбуждением генератора БУВГ-02 и панель оператора типа 4B1270, связанные между собой CAN-шиной. На рис. 5.18 приведена укрупненная структурная схема СУТЭП-01.

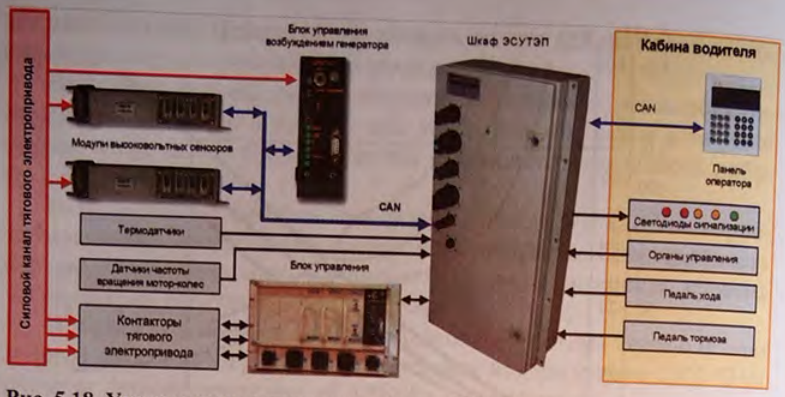



**Рис. 5.18. Укрупненная структурная схема СУТЭП-01.**

По сравнению с цифро-аналоговой системой управления СУТЭП-01 имеет ряд преимуществ, к которым относятся:

- гибкость системы, обеспечивающая наладку ее параметров под конкретную модель автосамосвала;
- автоматизация настройки параметров тягового электропривода;
- стабильность «эталонной» настройки параметров электропривода как на этапе производства, так и в процессе его эксплуатации.

Применение программируемых контроллеров в составе системы управления тяговым электроприводом значительно повысило надежность системы и коэффициент готовности автосамосвалов в целом. Средний срок службы СУТЭП-01 составляет не менее десяти лет.

Для наладки и диагностики СУТЭП-01 используется комплект наладчика (ноутбук со специальным программным обеспечением и оборудованием), обеспечивающий быстрый контроль параметров электропривода и оценку работоспособности в режиме реального времени (рис. 5.19).

После создания системы управления тяговым электроприводом СУТЭП-02, обеспечивающей ступенчатое ослабление поля возбуждения тяговых электродвигателей на контакторах, в настоящее время разработана система управления нового поколения СУТЭП-03, которая станет дальнейшим развитием систем СУТЭП-01 и СУТЭП-02 (рис. 5.20).

Особенностью новой системы управления является то, что, кроме СУТЭП, она объединяет в себе систему контроля загрузки и топлива СКЗиТ, систему контроля давления в шинах СКД и систему диагностики дизеля.

Для диагностики дизеля автосамосвала применен автомобильный CAN протокол J1939. Обмен информацией между устройствами системы обеспечивается по защищенным CAN-сетям, не доступным для внешнего воздействия.



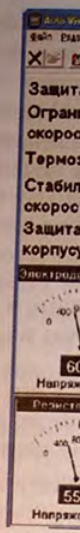


**Рис. 5.19. Ви**

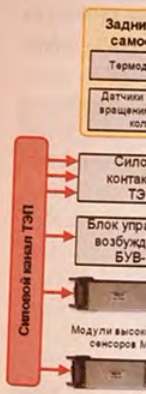



**Рис. 5.20. Укр**

В кабине
ливаться бол
визуализаци
заменить пр
карьерных ав

Применен
ринг эксплуа
состояния и с
тем, с возмож

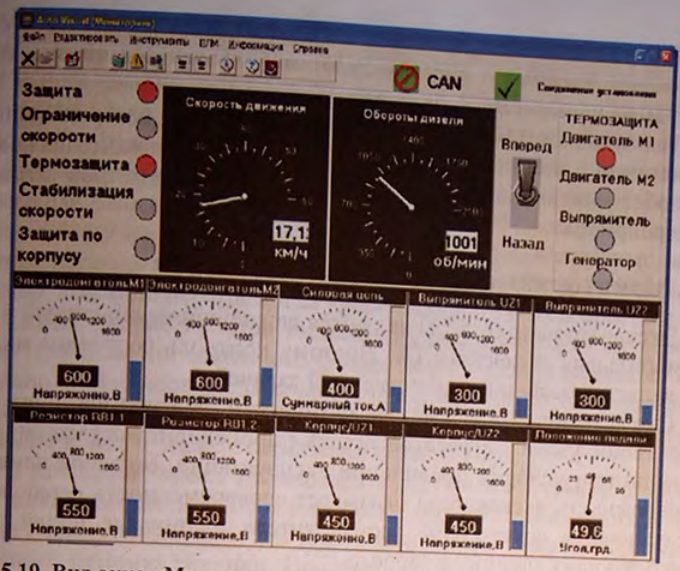



**Рис. 5.19. Вид окна «Мониторинг» программы наладки Auto Visual.**

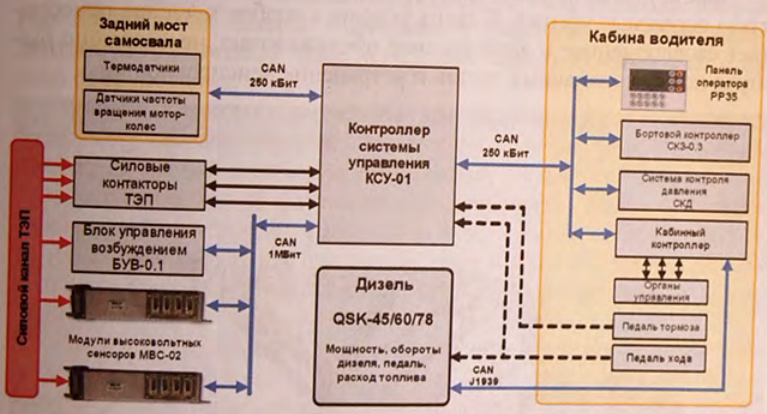



**Рис. 5.20. Укрупненная структурная схема СУТЭП-03.**

В кабине автосамосвала вместо панели 4В1270 будут устанавливаться более информативные и удобные в эксплуатации панели визуализации типа PP35 или PP220. Последняя может полностью заменить приборную панель, как это реализовано на зарубежных карьерных автосамосвалах.

Применение бортового контроллера СКЗ-03 обеспечит мониторинг эксплуатационных и технологических параметров, текущего состояния и сервисного обслуживания, входящих в СУТЭП-03 систем, с возможностью передачи данных в диспетчерский центр.

Для удобства обслуживания СУТЭП-03, объединяющей в своем составе несколько систем, будет использоваться только одна программа наладки и диагностики.

Таким образом, СУТЭП-03 станет гибкой самонастраивающейся системой с мощными средствами диагностики и самодиагностики и обеспечивающей удаленный мониторинг параметров тягового электропривода.

## 5.4. Мониторинг карьерных экскаваторов

Экскаваторы (рис. 5.21) являются важнейшими объектами в цепи мобильных объектов ГТК. Поэтому контроль состояния их узлов является особенно ответственной задачей.

Существенный элемент эффективности экскаватора – его ресурс. Износ узлов и агрегатов техники происходит достаточно равномерно при условии правильной эксплуатации. Большое влияние на надежность экскаватора оказывает своевременность сервисного обслуживания со стороны производителя машины и людей, эксплуатирующих машину в забое.

Как правило, простой одного из экскаваторов наносит предприятию ощутимые убытки. В таких условиях особое значение приобретает своевременное и качественное обслуживание, чрезвычайно быстрая поставка запасных частей и устранение неисправностей.



**Рис. 5.21. Объект мониторинга – экскаватор ЭКГ-10.**

На российском форуме ЭКСКАВАТОР.РУ заявляется, что одной из основных причин поломок экскаваторов – несвоевременное ТО или использование запчастей, бывших в употреблении, 30-35% машин всего парка находится в консервации. Зачастую их узлы и оборудование служат «обменным фондом» для комплектации задействованных в производстве экскаваторов. Такая практика оправдана условиями рынка, но приводит к тому, что законсервированные машины в итоге полностью разукомплектовываются. Отдельные экскаваторы периодически вводятся в работу на три-четыре месяца, например, в зимний период, когда уровень добычи угля возрастает.

Самые частые простои вызваны выходом из строя электромашин. При наличии обменного фонда такие простои возможно оперативно ликвидировать. В качестве наиболее частых отказов можно указать выход из строя электромашин главных приводов, муфты переключения, а также отказы механизма напора.

В последнее время наблюдается увеличение случаев разрушения ключевых элементов металлоконструкций экскаваторов, влекущих длительные простои и необходимость проведения долгосрочного ремонта техники. Подобное происходит довольно редко, и, если говорить о металлоконструкциях, то чаще наблюдается разрыв центральной цапфы. Возможно, в будущем подобные инциденты будут случаться чаще вследствие значительного общего износа оборудования.

В случаях излома центральных цапф наблюдаются тяжёлые повреждения несущих металлоконструкций экскаваторов. Это можно объяснить общим износом оборудования, а также снижением контроля со стороны обслуживающего персонала. Более детальное рассмотрение позволяет говорить о том, что снижается контроль над состоянием рабочих площадок, экскаваторы работают при значительных уклонах относительно технических требований к эксплуатации.

Предупредить поломку может только правильная эксплуатация и надежная защита от неправильных действий оператора. Одновременно надо информировать оператора о необходимости прохождения ТО и ремонта:

Немаловажное значение придается минимизации времени на обслуживание. Чем меньше времени оператор тратит на проверку технического состояния перед сменой, чем быстрей проведут плановое техобслуживание, тем дольше машина будет выполнять свои функции, принося владельцу прибыль.

Среди технических решений, принимаемых в этом направлении, системы текущей диагностики являются эффективным средством, не только упрощающим обслуживание, но и обеспечивающим оптимальные условия работы.

Одновременно для повышения загруженности экскаваторного парка необходимо совершенствовать связку «экскаватор – транспортное средство». Оптимальными являются системы дистанционного контроля и управления.

Как способ решения этих задач предложена Бортовая Система Контроля Экскаватора (БСКЭ), разработанная в ООО «ВИСТ Групп».

БКЭ позволяет не только определять координаты экскаватора и получать/передавать различные сообщения, как в подобных зарубежных системах, но и контролировать качество и расход электроэнергии экскаватором, определять угол наклона и тангажа. Объем диагностируемых параметров в зависимости от потребностей заказчика может наращиваться. Установка данного оборудования значительно снижает влияние человеческого фактора при учете работы экскаваторов.

В состав бортовой системы контроля экскаватора БКСЭ-01 входят:

- бортовой контроллер СКЗ-02.01;
- панель визуализации типа 4В1270;
- блок измерения параметров первичной питающей электросети 6 кВ, 50Гц;
- инклинометр ИК-02 (датчики крена и тангажа);
- антенна GPS;
- радионавигационный блок РНБ (встроен в контроллер);
- радиостанция с антенной;
- бортовая оснастка и вспомогательное оборудование.

Основная часть оборудования размещается в специализированном шкафу управления.

Структурная схема бортовой системы контроля экскаватора БСКЭ-01 показана на рис. 5.22.

Бортовая система контроля БСКЭ-01 позволяет решать следующие задачи:

- контроль состояния коммутационных элементов ячейки высоковольтного ввода;
- контроль наличия фаз и измерение параметров первичной питающей электросети 6 кВ;
- контроль наличия напряжений вторичного электропитания низковольтного комплектного устройства;
- определение состояния приводов экскаватора;
- измерение углов наклона экскаватора и зазора центральной цапфы;
- вывод на панель информации о состоянии оборудования ЭКГ;
- получение навигационной информации;
- ведение электронного журнала;
- обмен информацией с диспетчерским центром.






**Рис. 5.22. Струк**

Оборудов
ляемой экска
правильнее в
учет работы
решения.

В начале
формализован
конце смены –
ресылается ин
стоянии экска
при изменения

Машинист
дикаторную па

- текущий
смесь);
- текущий
- текущее с

По аналоги
формируется та
руется на основ
экскаватора и
ходит никаких
новая запись с
тора начнет дви
простоя.

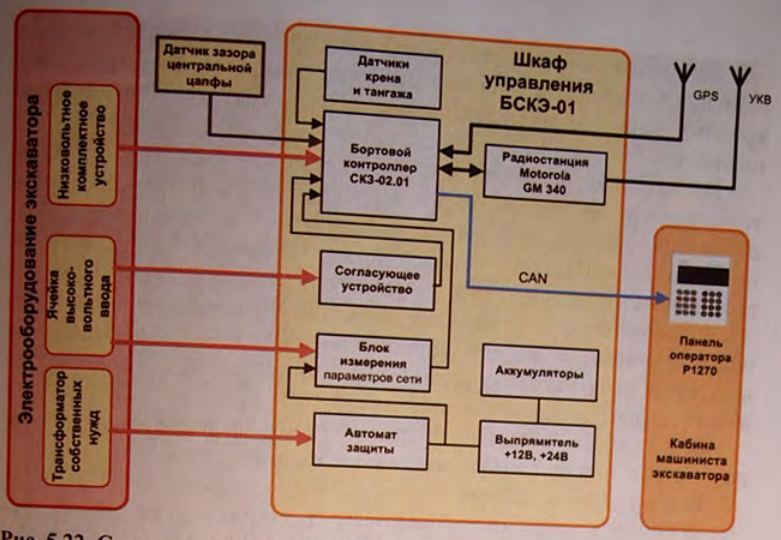



**Рис. 5.22. Структурная схема БКСЭ-01.**

Оборудование позволяет вести коммерческий учет потребляемой экскаватором электроэнергии, помогает экскаваторщику правильнее выдерживать требования проекта, позволяет вести учет работы экскаватора и помогает принимать управленческие решения.

В начале и в конце смены машинист экскаватора посылает формализованное сообщение о начале работы нового экипажа, а в конце смены – об окончании. При этом в диспетчерский центр пересылается информация о текущем виде груза, виде работ и состоянии экскаватора. В дальнейшем эта информация пересылается при изменениях, например при изменении вида работ.

Машинист экскаватора в течение смены должен, используя индикаторную панель, задавать:

- текущий вид груза (порода, кокс, энергетика, пылеугольная смесь);
- текущий вид работ;
- текущее состояние (готов к погрузке, простой по причине…).

По аналогии с таблицей остановок самосвалов автоматически формируется таблица «активности» экскаватора. Таблица формируется на основе анализа информации о перемещении платформы экскаватора и потребляемой им электроэнергии. Если не происходит никаких движений дольше заданного времени, то создается новая запись с фиксацией времени. Если платформа экскаватора начнет движение, то будет зафиксировано время окончания простоя.

Дополнительно автоматически фиксируются моменты отключения/включения питания бортового контроллера. Информация о времени отключения контроллера передается после включения питания.

Информация, принимаемая к учету, может формироваться автоматически, но может быть скорректирована диспетчером или добавлена для экскаваторов, не оснащенных бортовым оборудованием системы. Первичная информация в любом случае не изменяется и может использоваться для контроля действий диспетчера.

На экскаваторах устанавливается GSP оборудование, работающее в автономном режиме. Для повышения точности определения координат экскаватора система цифровой радиосвязи может передавать дифференциальную поправку.

БСКЭ обеспечивает непрерывный автоматический контроль параметров электрооборудования экскаваторов серии ЭКГ.

**Выполняемые задачи.**

1. Контроль состояния высоковольтного разъединителя и вакуумного контактора в ячейке высоковольтного ввода (в шкафу 2КВЭ-630 – в зависимости от комплектации экскаватора).

2. Контроль наличия фаз напряжения первичной питающей электросети 6 кВ, 50 Гц.

3. Измерение параметров первичной питающей электросети 6 кВ, 50 Гц (линейные напряжения, фазовые токи, мощности активные/реактивные/полные (для экскаватора в целом), частота сети и другие параметры).

4. Контроль наличия напряжений вторичного электропитания Низковольтного Комплектного Устройства (по каналам ±15 В, ±24 В, ~44 В для командоаппаратов).

5. Определение текущего состояния всех приводов (определение уровня потребляемой мощности, циклов экскавации и др.).

6. Измерение текущих углов наклона экскаватора (углы крена и тангажа).

7. Измерение зазора центральной цапфы экскаватора (рис. 5.23).

8. Вывод на индикатор, расположенный в кабине машиниста экскаватора (рис. 5.24), состояния элементов управления, наличия первичных и вторичных напряжений питания, значений параметров первичной питающей электросети, состояния приводов экскаватора, а также вывод на индикатор аварийных сообщений, предупреждающих машиниста о выходе параметров за определенные пороговые значения – при превышении мощности, потребляемой конкретным приводом или всем экскаватором в целом, при превышении угла крена или тангажа: экскаватор стоит под недопустимым наклоном, при отсутствии связи с диспетчерским центром или отсутствии спутников глобальной системы навигации и др.

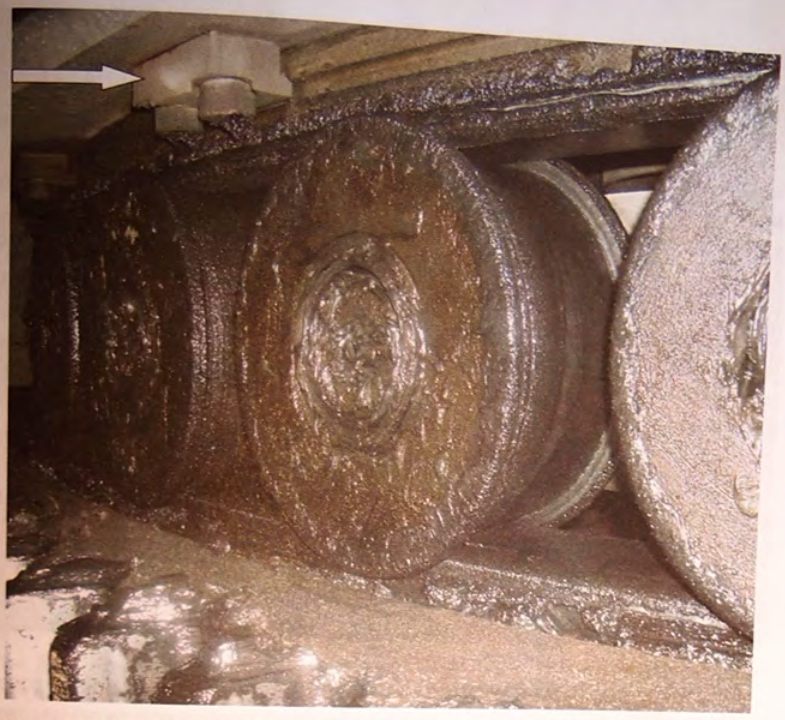


Рис. 5.23. Датчик измерения зазора центральной цапфы.



Рис. 5.24. Аппаратура управления БСКЭ в кабине экскаватора.

9. Получение от системы спутниковой навигации GPS географических координат текущего места нахождения экскаватора и астрономического времени.

10. Ведение бортового электронного журнала, предназначенного как для регистрации параметров электрооборудования экскаватора в, нормальном режиме, так и для регистрации аварийных ситуации (синхронно с выдачей аварийных сообщений на индикатор машинисту). Все записи журнала регистрируются с астрономическим временем, поступающим от системы спутниковой навигации GPS.

11. Выдача по радиоканалу на сервер системы диспетчеризации «КАРЬЕР» информации о состоянии электрооборудования экскаватора (в том числе и аварийных сообщений) с возможностью последующей рассылки данной информации по Интернет заинтересованным потребителям. Радиопакеты передаются с астрономическим временем: аварийные сообщения передаются синхронно с выводом данных сообщений на индикатор машинисту.

12. Передача от машиниста экскаватора в диспетчерскую сообщений о простое экскаватора и причинах, вызвавших простой.

В соответствии с перечнем решаемых задач система включает в себя следующие компоненты:

1. Блок бортового контроллера типа СКЗ-02.01 производства компании «ВИСТ Групп» со встроенным радионавигационным модулем типа РНБ. Данный блок (СКЗ) является центральным бортовым вычислителем системы и предназначен для решения следующих задач (рис. 5.25):

1.1. Обмен информацией с измерителем параметров первичной электросети с целью получения значений параметров первичной питающей электросети, в том числе коммерческий контроль расхода электроэнергии за различные промежутки времени (рис. 5.26).

1.2. Обмен информацией с Низковольтным Комплектным Устройством (НКУ) с целью получения информации о состоянии приводов экскаватора.

1.3. Обмен информацией с радиостанцией через блок РНБ (с сервером системы диспетчеризации) для отправки отчетов на сервер.

1.4. Прием навигационной информации от активной антенны спутниковой навигации GPS (время и географические координаты).

1.5. Ведение электронного журнала в твердотельной памяти контроллера.

1.6. Вывод информации на индикатор в кабине машиниста.

1.7. Измерения угла крена, угла тангажа и зазора центральной цапфы.

1.8. Прием от согласующего устройства дискретных команд наличия первичных/вторичных напряжений питания НКУ и состояния



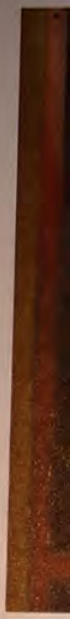


**Рис. 5**
*1* – СК
питани
для пр

**Рис. 5.2**

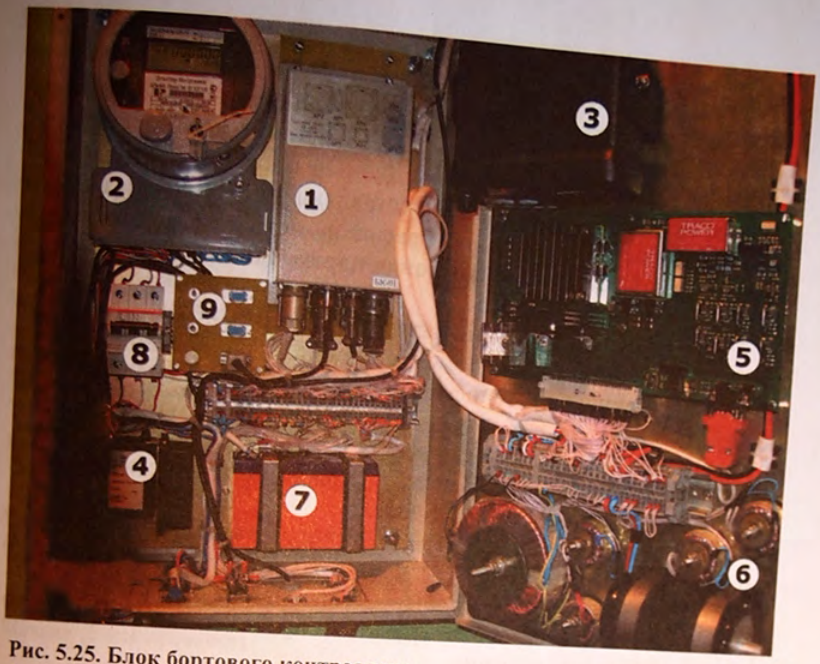



**Рис. 5.25. Блок бортового контроллера.**
*1* – СКЗ, *2* – счетчик, *3* – радиостанция (радиомодем), *4* – инклинометр, *5* – модуль питания, *6* – модуль защиты, *7* – аккумулятор, *8* – включение счетчика, *9* – порты для программирования СКЗ и съема данных.



**Рис. 5.26. Измеритель параметров первичной электросети.**

коммутационных элементов ЯВВ (высоковольтный разъединитель, вакуумный выключатель).

2. Блок измерения параметров первичной питающей электросети 6 кВ, 50 Гц типа A2R-4AL-C25-T+ производства российской компании «Эльстер Метроника». Данный блок осуществляет измерение активной и реактивной составляющих мощности в обоих направлениях с регистрацией графиков потребляемой энергии. С блоком СКЗ-02.01 блок измерения параметров электросети связан через канал типа RS-485.

3. Радиостанция УКВ-диапазона типа GM-340 производства компании «Motorola». С помощью данной радиостанции блок СКЗ-02.01 обменивается информацией с сервером системы диспетчеризации.

4. Панель индикации 4 строчная типа 1253 производства компании «Benecker&Rainer». Панель индикации подключена к блоку СКЗ-02.01 с помощью шины CAN 2.0.

5. Антенна УКВ типа MC-101 производства компании «Diamond Antenna Corp.» и антенна спутниковой навигации типа HardMount производства компании «Trimble» обеспечивают связь с сервером системы диспетчеризации и группой спутников навигационной системы GPS соответственно.

6. Согласующее устройство типа УС-Э производства компании «ВИСТ Групп» предназначено для согласования по уровням внешних сигналов системы и входных сигналов блока СКЗ-02.01.В состав согласующего устройства входит также зарядное устройство для аккумуляторов аварийного электроснабжения системы БСКЭ.

7. Датчики углов наклона по крену и тангажу типа ИК-02 производства «ВИСТ Групп» – аналоговые датчики типа 4–20 мА. Подключаются напрямую к блоку СКЗ-02.01.

8. Датчик зазора центральной цапфы производства «ВИСТ Групп» – аналоговый датчик типа 4–20 мА. Подключаются напрямую к блоку СКЗ-02.01.

9. Концевые выключатели MS4 производства компании «OMRON» предназначены для контроля положения коммутационных изделий высоковольтной ячейки ввода.

10. Выпрямительное устройство (производства «ВИСТ Групп») предназначено для формирования внутренних питающих напряжений системы БСКЭ.

11. Автомат защиты типа S263 производства концерна «ABB» - трехфазный автомат защиты с током срабатывания 500 мА осуществляет защиту от короткого замыкания или перегрузки по внутренним цепям БСКЭ.

12. Аккумуляторы типа DTM1207 (12 В, 7 Ач) производства компании «DELTA» осуществляют энергоснабжение системы

БСКЭ при отключении напряжения первичной питающей электросети 6 кВ 50 Гц.

Технические характеристики БСКЭ:

| | |
|---|---|
| Точность определения географических координат, м | не более ±5 (±1 в режиме дифф. поправки); |
| Точность измерения зазора центральной цапфы, мм | не более 0.1; |
| Точность измерения углов, град | не более 0.2; |
| Средняя потребляемая мощность, ВА | не более 30; |
| Потребляемая мощность в импульсе | 90; |
| Точность измерения параметров электросети | 0.5S; |
| Номинальные напряжения, В | 380; |
| Номинальные токи, А | 5; |
| Точность измерения частоты, Гц | ±0.01; |
| Тип канала передачи данных – УКВ ЧМ диапазон рабочих частот, МГц | 403–470; |
| Климатическое исполнение У категории 2 по | ГОСТ 15543.1-89 и ГОСТ15150-69; |
| Высота над уровнем моря, м | 1000; |
| Относительная влажность воздуха при температуре +15 °С, % | не более 75; |
| Степень влагозащиты | IP65; |
| Механическая прочность: | категории М19 по ГОСТ 17516.1-90; |
| вибрации частотой | от 0 до 35 Гц; |
| и амплитудой ускорения | до 0.5 g; |
| Температурный диапазон, град. С: | рабочий –40 ... +55; |
| | хранения ±60. |

Устройство и работа системы видны из схемы (рис. 5.27).

При включении высоковольтного разъединителя и вакуумного контактора напряжение первичной питающей электросети 6 кВ 50 Гц поступает на трансформатор собственных нужд ТСН экскаватора (тип ТМЭГ-160 для ЭКГ-10) и через трансформаторы тока серии ТПЛ – на основной привод экскаватора. Напряжения с выхода ТСН (три фазы 0.4 кВ + изолированная нейтраль) через автомат защиты S263 поступают на входы системы измерения параметров электросети (типа A2R-4AL-C25-T+). Преобразованные трансформаторами токи фаз А и С подаются на токовые входы системы измерения параметров электросети. В состав блока измерения параметров электросети входит специальная память, в которой запоминаются коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжений. В процессе измерения параметров сети 0.4 кВ происходит автоматическое умножение напряжений и токов на соответствующие коэффициенты. В результате чего получаем параметры первичной электросети.

Напряжение фазы А через автомат защиты поступает на вход выпрямительного устройства.

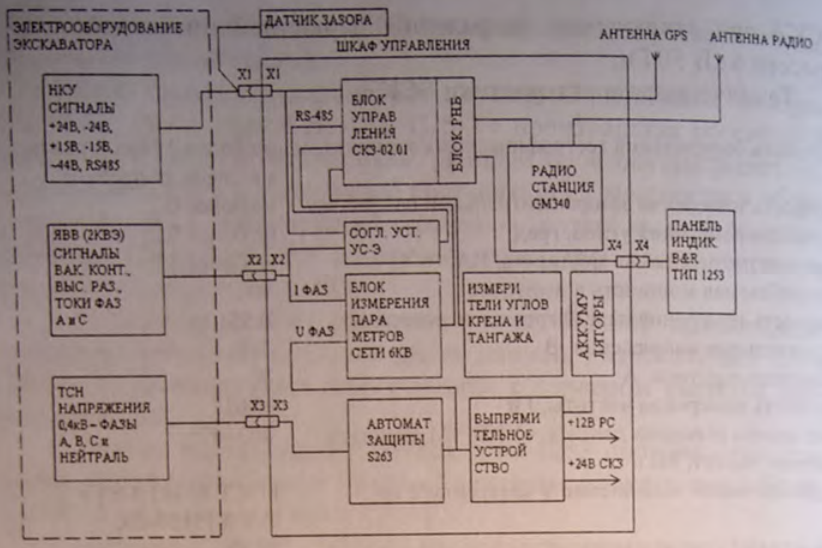



**Рис. 5.27. Схема устройства и работы системы.**

Выпрямительное устройство обеспечивает защиту от напряжений по входу и формирование питающего напряжения для работы вторичных преобразователей напряжения, установленных в согласующем устройстве. Данные преобразователи обеспечивают нормальное электропитание для всех потребителей системы БСКЭ.

После выхода на рабочий режим всех напряжений питания блок СКЗ-02.01 после завершения алгоритма встроенного контроля производит циклический (с частотой 10 Гц) опрос датчиков информации, а именно:

- датчики углов крена, тангажа и зазора центральной цапфы;
- блок параметров первичной электросети 6кВ 50Гц;
- низковольтное комплектное устройство;
- клавиатура индикатора в кабине машиниста:
- блок РНБ;
- концевые выключатели положения коммутационных элементов ЯВВ;
- согласующее устройство по каналам наличия всех трех фаз питающего напряжения и по каналам наличия напряжений вторичного электропитания.

Блок СКЗ-02.01 содержит в своем составе твердотельную память, в которую записываются предельные значения параметров. При выходе значения параметра за эти пределы (например зазор центральной цапфы слишком мал) блок СКЗ-02.01 произведет следующие действия:

- произведет запись в электронном журнале о наличии нештатной ситуации;

• выдаст предупреждающее сообщение на индикатор машинисту;

• при очередном запросе от сервера системы диспетчеризации в диспетчерскую будет направлена информация о наличии нештатной ситуации.

При нормальной работе БСКЭ блок СКЗ-02.01 будет принимать и обрабатывать информацию от датчиков, принимать запросы от диспетчерского центра и отправлять обратно отчеты о состоянии электрооборудования экскаватора в соответствии с циклограммой опроса системы диспетчеризации. При отправке сообщений о неработоспособности экскаватора (они посылаются машинистом с помощью клавиатуры панели индикации) блок СКЗ отправит их в диспетчерский центр в соответствии с Протоколом радиоканала системы диспетчеризации.

Передача данных между экскаватором и диспетчером производится в двух направлениях – как от оператора ЭКГ к диспетчеру, так и от диспетчера к оператору ЭКГ. Таким образом, диспетчер имеет возможность передавать на борт ЭКГ команды, подтвержденные документально. Все поступившие команды фиксируются, запоминаются в системе.

Форматы данных и очередность следования информации в радиопакетах, пакетах данных от НКУ, отчетах системы измерения параметров первичной электросети и записях электронного журнала приводятся в Протоколах Информационного Обмена для каждой подсистемы отдельно.

В результате включения парка экскаваторов в состав АСУ ГТК система получает:

• формирование полной статистики о техническом состоянии экскаваторов;

• учет ремонтов и прочих простоев;

• автоматическое перенаправление автосамосвалов при остановке ЭКГ;

• историю функционирования за любой прошедший период;

• коммерческий учет расхода электроэнергии по ЭКГ и другие дополнительные функции.

В 2006 г. специалисты «ВИСТ Групп» проделали большую работу по совершенствованию системы БСКЭ, в результате чего были уточнены задачи, решаемые этой системой, а именно:

• предупреждение поломки дорогостоящих узлов;

• непрерывной автоматической контроль параметров электрооборудования;

• непрерывный автоматический контроль механической части оборудования;

• информирование оператора о необходимости прохождения ТО и ремонта;

• уменьшение времени поиска неисправностей;
• информирование оператора о режимах работы экскаватора;
• непрерывный автоматический контроль процесса работы экскаватора и объема выполненных работ.

В настоящее время БСКЭ обеспечивает выполнение дополнительных задач.

1. Контроль состояния высоковольтного разъединителя и вакуумного контактора в ячейке высоковольтного ввода.

2. Контроль наличия фаз напряжения первичной питающей электросети 6 кВ, 50 Гц.

3. Измерение параметров первичной питающей электросети 6 кВ, 50 Гц.

4. Контроль наличия напряжений вторичного электропитания Низковольтного Комплектного Устройства.

5. Определение текущего состояния всех приводов (определение уровня потребляемой мощности, циклов экскавации и др.).

6. Измерение текущих углов наклона экскаватора (углы крена и тангажа).

7. Измерение зазора центральной цапфы экскаватора.

8. Вывод на индикатор, расположенный в кабине машиниста экскаватора, следующей информации:
• состояние элементов управления ЯВВ;
• наличие первичных и вторичных напряжений питания;
• значения параметров первичной питающей электросети;
• вывод аварийных сообщений, предупреждающих машиниста о выходе параметров за определенные пороговые значения;
• превышение угла крена или тангажа – экскаватор стоит под недопустимым наклоном;
• состояние приводов экскаваторов;
• отсутствие связи с диспетчерским центром или отсутствие спутников глобальной системы навигации и др.

9. Получение от системы спутниковой навигации GPS географических координат текущего места нахождения экскаватора и астрономического времени.

10. Ведение бортового электронного журнала, предназначенного как для регистрации параметров электрооборудования экскаватора в нормальном режиме, так и для регистрации аварийных ситуации (синхронно с выдачей аварийных сообщений на индикатор машинисту).

11. Выдача по радиоканалу на сервер системы диспетчеризации «КАРЬЕР» информации о состоянии электрооборудования экскаватора (в том числе и аварийных сообщений) с последующей рассылкой данной информации по INTERNET заинтересованным потребителям.

12. Передача от машиниста экскаватора в диспетчерскую сообщений о простое экскаватора и причинах, вызвавших простой.

С целью совершенствования системы для удаленной диагностики состояния экскаватора ООО «ВИСТ Групп» ведет работу совместно с «ОМЗ Горное оборудование и технологии», СПГГИ(ТУ), ОАО «РУДавтоматика», компанией «Объединенная Энергия» по контролю параметров основных узлов экскаваторов.

Направления совершенствования автоматизированной системы удаленной диагностики экскаватора.

1. Внедряется устройство учета работы экскаватора с формированием информации:

- количество загруженных/выгруженных ковшей за смену, сутки, месяц;
- объем горной массы, перегруженной машинистом экскаватора за смену, сутки, месяц (т);
- машинное время работы экскаватора за смену, сутки, месяц (ч).

2. Разрабатывается узел определения текущего позиционирования ковша экскаватора.

3. Прорабатываются различные варианты аварийного оповещения о работе экскаватора с нарушением условий эксплуатации, а также сигнала об умышленной порче.

4. Определяется оптимальный список параметров диагностируемых узлов экскаватора ЭКГ и вид получаемой информации.




**Рис. 5.28. Схема выполнения БСКЭ функций в составе системы «Карьер».**

5. Оборудование унифицируется для оснащения как гидравлических, так и электрических экскаваторов.

6. Прорабатывается возможность оперативной выдачи технической информации по экскаваторам на сервисные центры.

Работа БСКЭ в системе диспетчеризации «КАРЬЕР» (рис. 5.28) позволяет:

- осуществлять оперативное управление парком машин, автоматически перенаправляя автосамосвалы при остановке ЭКГ;
- формировать полную статистику о техническом состоянии экскаваторов, вести учет ремонтов и прочих простоев, историю функционирования за любой прошедший период;
- осуществлять коммерческий учет расхода электроэнергии экскаваторами, расход топлива, учет количества загруженных–выгруженных ковшей, горной массы, загруженной машинистом, машинное время работы экскаватора.

Разработанная система для удаленной диагностики состояния экскаватора и контроля его работы, представляет собой своевременный и необходимый этап повышения производительности экскаваторного парка.

## 5.5. Методическое обеспечение использования результатов автоматизированного мониторинга работы погрузочно-транспортных комплексов

Решение проблемы мониторинга эксплуатации горно-транспортных комплексов на подземных и открытых работах можно разделить на две части:

1. Получение необходимой информации о его работе в течение смены, месяца, года.

2. Переработка и использование этой информации.

Если решение первой задачи представляет собой комплекс технических решений, связанных с использованием специальных технических средств – датчиков, считывающих устройств, компьютеров, то решение второй задачи имеет в своей основе комплекс организационно-методологических и системных решений, четко определяющих круг лиц, использующих полученную информацию и несущих за это ответственность.

Выполненные в СПГГИ (ТУ) исследования в целом позволили решить первую задачу.

На втором этапе исследований предусматривается решение второй задачи. Она не менее, а может быть, и более сложна, чем первая. Если ее грамотно не решить, то вся получаемая информация может оказаться практически бесполезной или, в крайнем случае, мало эффективной.

Разработка методического обеспечения мониторинга самоходного оборудования и карьерных автосамосвалов, экскаваторов, подземного самоходного оборудования должна быть оформлена в виде четкого регламента, который должен стать, по существу, Инструкцией по эксплуатации оборудования на качественно другом уровне.

*Цель работы можно сформулировать следующим образом:* Разработать четкий регламент (порядок) получения и использования информации о состоянии оборудования в процессе эксплуатации.

Задачи:

- определить структуру получаемой информации, ее достаточность и степень достоверности;
- разработать способы получения и передачи информации;
- определить адресата получения информации: кто, когда и как ее использует;
- разработать конкретные рекомендации по повышению эффективности эксплуатации оборудования.

Структура получаемой информации должна отражать наиболее полно следующие моменты:

- состояние машины в период выполнения рабочего цикла – загрузка ковша породой, движение с грузом, разгрузка у приемного пункта, движение порожняком с точностью до секунд;
- массу породы в ковше или кузове;
- число рабочих циклов за смену;
- общее количество погруженной и перевезенной массы за смену;
- все простои машины за смену – время и продолжительность (мин.);
- причины простоев – отказ машины, пункта погрузки или разгрузки, организационные причины;
- нагрузочные режимы узлов машины в течение рабочего цикла;
- расход энергии (дизельного топлива, электроэнергии) по операциям рабочего цикла;
- виды, характер, причины и продолжительность отказов.

Информация о погруженной массе, времени выполнения рабочего цикла (машинное время), продолжительности простоев и расходе энергии, а также параметров нагружения узлов машины должна идти накопительным итогом за месяц и год.

Способы получения информации можно разделить на 3 вида:

- ручной, то есть без применения специальной аппаратуры;
- автоматизированный (оператор + аппаратура);
- автономный, то есть полностью независимый от оператора.

Первый способ широко применяется в настоящее время, но он весьма несовершенен, так как целиком зависит от оператора, его

ответственности и квалификации. К тому же, этим способом нельзя получить всю требуемую информацию. Поэтому необходимо переходить на один или два следующих способа. На современном этапе предпочтительнее второй способ ввиду относительной простоты, а в перспективе нужно переходить на третий вариант.

Уровни использования результатов информации мониторинга показаны на рис. 5.29, а ее структура и использование – в таблице 5.3.

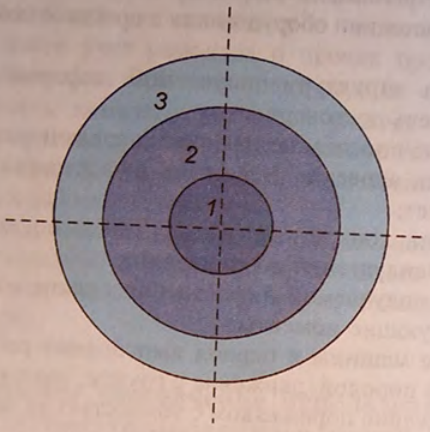



**Рис. 5.29. Уровни использования результатов мониторинга.**
*1–3* – уровни использования результатов мониторинга: *1* – машинисты (операторы), горные мастера, механики смен; *2* – работники ремонтных служб, службы главного механика; *3* – главный механик, главный инженер, начальник рудника, работники экономической службы.

*Таблица 5.3*

**Структура информации и ее использование**

| № п/п | Вид информации | Кто и как использует |
|---|---|---|
| 1 | Первичная информация: количество погружений и перевезенной горной массы, структура рабочего цикла машины, энергозатраты | Диспетчер, начальник смены, начальник участка, механик и электрик участка, экономическая службы. Анализ работы оборудования. |
| 2 | Состояние машины: нагрузочные режимы узлов, отказы, виды простоев | Работники механической службы рудника, службы ТО и ремонта, отдел запчастей. Составление графиков ТО и Р, обеспечение учета и контроля |
| 3 | Итоги работы за неделю, месяц, квартал, год | Главный механик, гл.инженер, начальник рудника, гл.механик, технический директор комбината. |

Разумеется, строго разделить между собой уровни использования информации от мониторинга машин вряд ли возможно, где-то они могут пересекаться. Но в то же время необходимо четко определить как адресата(ов) получения этой информации, так и ответственность конкретного работника за ее использование.

Основная задача развития систем диспетчеризации горно-транспортных комплексов заключается, по нашему мнению, в разработке указанного выше регламента, который должен являться составной частью проекта системы «КАРЬЕР» или других подобных систем.

# 6. ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ НА ОТКРЫТЫХ РАБОТАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОТРАНСПОРТА

## 6.1. Опыт внедрения и эксплуатации систем на угольных разрезах

### 6.1.1. Внедрение системы «КАРЬЕР» в ЗАО «Черниговец»

Впервые система «КАРЬЕР» была внедрена на угольном разрезе «Черниговский» (ЗАО «Черниговец»), который является одним из крупнейших и молодых угледобывающих предприятий России, находящихся на севере Кузбасса (Кемеровская обл.). Его годовой уровень добычи высококачественного угля открытым способом составляет около 4 млн т.

Разрез является градообразующим предприятием города Березовский. «Черниговец» ведет добычу открытым способом высококачественного энергетического и коксующегося угля марок СС и КС. В структуре предприятия собственная обогатительная фабрика, обеспечивающая выпуск угля классов ПК, КО, ОМ, ОМСШ, МСШ, СШ.

Потребителями коксового концентрата являются металлургические комбинаты Сибири, Урала, Центральной России и Украины. Высокое качество выпускаемой продукции обусловило стабильный рост экспортных поставок. Сегодня это более 70 % в общей поставке угля на рынок. Потребителями угля за рубежом являются Турция, Великобритания, Румыния, Польша, Украина, Литва, Финляндия, Германия, Словакия.

ЗАО «Черниговец» входит в состав холдинговой компании «Сибирский Деловой Союз».

Горное оборудование представлено техникой отечественных и зарубежных фирм-производителей: одноковшовые экскаваторы типа ЭКГ и высокопроизводительные гидравлические немецкие экскаваторы RH Terex, автосамосвалы грузоподъемностью 40, 55, 120 и 130 т.

Структура мобильных объектов на разрезе выгладит следующим образом:

- тяговые агрегаты ОПЭ-1 – 14 ед.;
- тепловозы – 9 ед.;

• думпкары 2ВС-105 – 141 ед.;
• думпкары 6ВС-60 – 35 ед.;
• автосамосвалы – БелАЗ 75485 (40 т.) – 8 ед., БелАЗ 7555 (55 т.) – 3 ед., БелАЗ 75131 (130 т.) – 6 ед., БелАЗ 7512 (120 т.) – 24 ед.;
• бурстанки – 7 ед.;
• экскаваторы – 34 ед.;
• бульдозеры и грейдеры – 14 ед.

ЗАО «Черниговец» – это первое для «ВИСТ Групп» комплексное внедрение автоматизированной системы управления. На примере внедрения системы видна общая стратегия развития системы «Карьер», заключающаяся в переходе от функций мониторинга к задачам управления комплексом горно-транспортного оборудования. Началось внедрение в 2001 г. с оснащения бортовым оборудованием 32 самосвалов БелАЗ-7512. На начальном этапе были поставлены две задачи:

1. контроль расхода дизельного топлива и предотвращение несанкционированных сливов;

2. предотвращение приписок рейсов самосвалов.

Данные с бортовых контроллеров снимались при помощи подключения ноутбука. С ноутбука журналы бортовых контроллеров переносились на сервер для дальнейшей обработки.

Поставленные задачи были успешно решены. Хотя на первом этапе неоднократно приходилось доказывать при помощи просмотра истории движения самосвалов и других средств, что система зафиксировала верное количество рейсов.

В плане контроля расхода топлива был налажен строгий контроль остатков топлива на момент передачи смены. До внедрения системы водители не всегда верно отражали его остатки, мотивируя это тем что, сэкономив его на легких маршрутах, они создают запас на ненормативный расход при плохих условиях работы. Тем самым создавались условия для несанкционированных сливов, и отсутствовала объективная картина о расходе топлива на различных участках.

В 2002 г. система была дополнена оборудованием для передачи данных бортовых контроллеров по радиоканалу и поставлена новая задача – довести уровень учета работы самосвалов в системе «Карьер» до такого уровня, при котором можно передавать зафиксированные системой данные для расчета заработной платы, производственного учета и статистики. Поставленные задачи были решены после расширения функциональности системы. В частности, были решены следующие задачи.

1. Возможность ручного ввода данных о работе самосвалов, не оснащенных бортовым оборудованием. (На тот момент времени бортовое оборудование не было установлено на парк самосвалов

грузоподъемностью меньше 120 т.). В результате появилась возможность комплексного учета работы всего парка самосвалов.

2. Учет причин простоев самосвалов. Был отлажен механизм и регламент ввода причин простоев. Важность решения данной задачи была продиктована как производственной необходимостью, так и тем, что данные о длительности и причине простоя участвуют в расчете выполненных водителем норм и влияют на заработную плату.

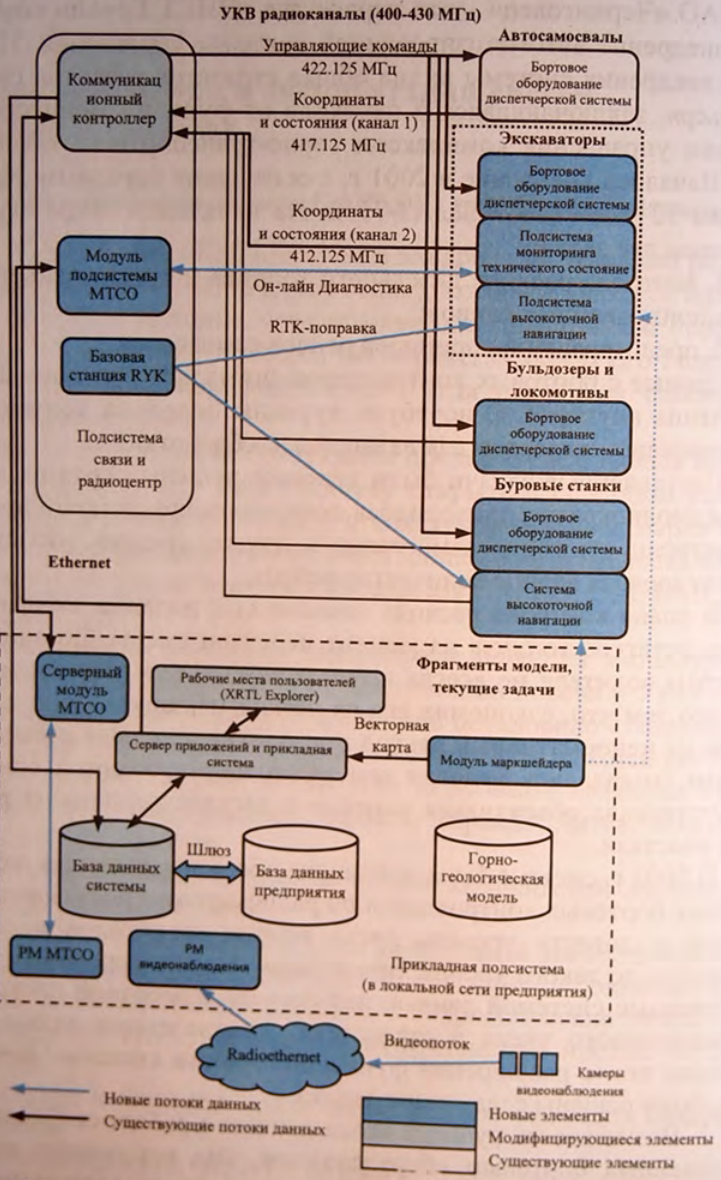



**Рис. 6.1. Этапы реализации проекта.**

3. Разработан механизм и регламент импорта данных системы диспетчеризации в ERP систему «Галактика» и другие информационные системы, используемые на предприятии.

В 2004 г. система «Карьер» в ЗАО «Черниговец» была расширена включением железнодорожного транспорта. Бортовое оборудование было установлено на все 22 локомотива и были установлено соответствующее программное обеспечение. Решаемые задачи – учет количества рейсов, контроль расхода дизельного топлива, учет простоев, экспорт данных в другие информационные системы предприятия.

В 2006 г. была проведена существенная модернизация программного обеспечения системы.

1. Переход на так называемую «событийную» систему. Если ранее бортовые контроллеры просто фиксировали и передавали состояние датчиков, то после модернизации программного обеспечения на бортовых контроллерах стал формироваться журнал событий. К событиям относятся погрузка, разгрузка, остановка, начало движения и множество других. Система стала устойчиво работать даже в условиях зон радиотеней и при отключении передачи данных до нескольких часов.

2. Был разработан новый механизм обработки данных на сервере системы – так называемый UMP. UMP – это разветвленная цепь обработчиков. Каждый обработчик – это небольшая и сравнительно простая программа. Таким образом, появилась возможность конфигурировать систему из отдельных обработчиков, как из кирпичиков, настраивая ее на обработку самой разной информации.

Модернизация программного обеспечения позволила перейти к решению следующего класса задач, связанных с управлением горно-транспортного комплекса.

1. Механизм нормирования работы. При планировании смены система сравнивает провозную способность транспорта с возможностями погрузки.

2. Механизм сообщений об отклонениях от штатной работы оборудования – ненормативный простой, ненормативная загрузка и т. п.

Также в 2006 г. бортовое оборудование системы было установлено на бульдозеры и топливозаправщики с соответствующими модулями программного обеспечения.

Оснащение бульдозеров решает следующие задачи.

1. Контроль расхода дизельного топлива.

2. Учет времени работы в течение смены. Как показал опыт внедрения, и не только в ЗАО «Черниговец», бульдозеры используются не вполне эффективно. Их постой в течение смены составляет как минимум несколько часов. Анализ работы позволил сократить время простоев

Оборудование, установленное на топливозаправщики позволяет определять объем заправки, координаты остановок топливозаправщиков, время движения и другую информацию. Регламент учета дизельного топлива, принятый на предприятии и реализованный в программном обеспечении, обеспечивает учет заправок, как в литрах, так и в килограммах с учетом плотности топлива.

Основные этапы внедрения системы в ЗАО «Черниговец» отражены на структурной схеме на рис. 6.1.

В 2007 г. планируется осуществить переход к автоматизированному управлению автомобильном транспортом в открытом цикле работы. Исходя из различных критериев оптимизации движения самосвалов после каждой разгрузки на панели, установленной в кабине самосвала будет отображаться новый маршрут движения.

Расчет экономического эффекта внедрения системы по результатам работы 9 месяцев после начала эксплуатации показал, что за счет роста производительности автосамосвалов (в сопоставимых с 2001 г. условиях) было получено дополнительной товарной продукции в сумме 56.2 млн руб., в том числе составляющая прибыли в сумме 7.5 млн руб.

Кроме того, получена условная экономия в сумме 1608.4 тыс. руб.:

- по ФЗП от исключения возможности приписок в сумме 741.0 тыс. руб.;
- от экономии ГСМ в сумме 867.4 тыс. руб.

Общая экономия от внедрения составила 9.1 млн руб. в год, при этом производительность самосвалов увеличилась на 7 %, а расход топлива снизился на 5 %.

Срок окупаемости системы составил 11 месяцев.

### 6.1.2. Опыт эксплуатации системы в ОАО «Южный Кузбасс»

Одним из крупнейших объектов внедрения системы диспетчеризации «КАРЬЕР» явилось ОАО «Южный Кузбасс». Работы по внедрению были начаты в мае 2004 г. и проводились одновременно на Красногорском, Томусинском и Сибиргинском разрезах.

Томусинская автобаза (г. Междуреченск) обслуживает Красногорский и Томусинский разрезы. В состав Сибиргинского разреза входит автобаза. Из – 15.7 млн т угля в год открытым способом добывается – 12.8 млн т, из них – 11.1 млн т добываются Красногорским, Сибиргинским и Томусинским разрезами. Эти предприятия вместе с Томусинской автобазой включены в автоматизированную систему диспетчеризации (АСД – наименование, принятое в ОАО «Южный Кузбасс»).

Все три разреза расположены на южном берегу р.Томи и имеют сложный горный рельеф. Площадь Красногорского разреза – 26.6 км$^2$; Томусинского – 11.8 км$^2$, Сибиргинского – 29.7 км$^2$. Общая площадь горных работ, охваченных АСД и расположенных на достаточном удалении друг от друга (в разных городах), около 68 км$^2$.

*Состав АСД.* Система диспетчеризации представляет собой распределенную структуру сбора, обработки, хранения и визуализации информации о местоположении и состоянии транспортных средств (ТС) и включает в себя:

- бортовые комплекты оборудования ТС;
- диспетчерские центры автобаз, включая рабочие места на разрезах;
- радиоцентры автобаз (РЦ);
- подсистему цифровой радиосвязи РЦ и ТС;
- подсистему связи между РЦ, серверами и рабочими местами пользователей;
- программно-аппаратный комплекс ДЦ (прикладная подсистема).

За это время оборудованы 58 подвижных объектов в Сибиргинском АТЦ, из них 55 карьерных самосвалов из 63 (87%), в Центральном АТЦ, 59 карьерных автосамосвалов из 69 (87%).

Установлено оборудование двух радиоцентров, двух диспетчерских центров в Сибиргинском и Центральном АТЦ. Клиентские рабочие места для отображение информации о работе горнотранспортного оборудования установлены не только в автобазе, на разрезах, но и в центрлаьном офисе ОАО «Южный Кузбасс».

Реорганизована диспетчерская служба ОАО «Южный Кузбасс» с установкой двух рабочих мест начальника смены ОАО «Южный Кузбасс» для постоянного контроля работы горнотранспортного оборудования на Сибиргинском разрезе (Сибиргинский АТЦ), Красногорском и Томусинском разрезах (Центральный АТЦ).

В настоящее время проводятся работы по включению в АСД вновь поступающих карьерных самосвалов (оборудование на годовую программу получено). Получено также оборудование и начаты работы по включению в АСД 15 топливозаправщиков и 14 единиц вспомогательного транспортного оборудования (поливомоечные, подсыпальные машины, шлакотрус), участвующего в технологическом процессе. Получено оборудование для оснащения 55 единиц другого мобильного оборудования – бульдозеров и грейдеров.

Целью внедрения АСД является повышение производительности горнотранспортного оборудования за счет получения в реальном масштабе времени объективной информации о положении и состоянии горнотранспортного оборудования и своевременного

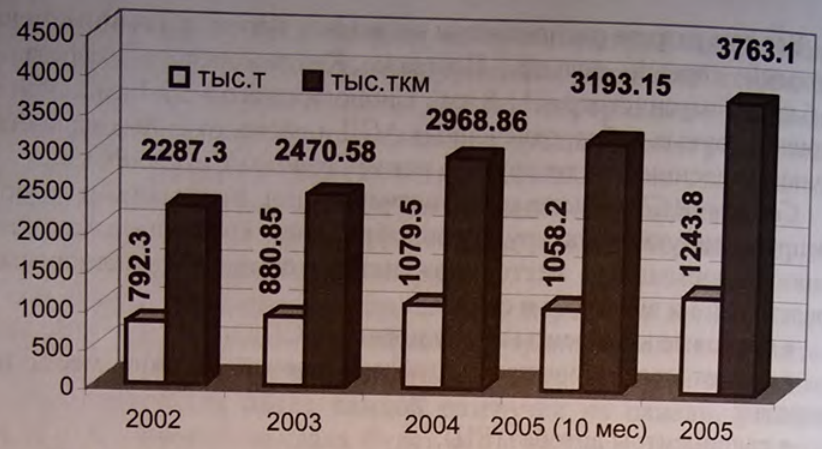



**Рис. 6.2. Производительность среднесписочного самосвала Сибиргинского разреза.**

вмешательства начальников смен автобазы и разрезов в ход работ, исключение случаев хищения дизельного топлива благодаря постоянному контролю уровня топлива в баках подвижных объектов, мгновенной передаче в диспетчерский центр информации с топливозаправщиков об объеме, месте и объекте заправки.

Для оценки эффекта внедрения АСД представлены технико-экономические показатели работы технологического транспорта Сибиргинского АТЦ (табл. 6.1) и диаграммы (рис. 6.2 и 6.3), показы-

*Таблица 6.1.*

**Показатели работы карьерного автотранспорта до и после внедрения системы «КАРЬЕР» (2005 г.)**

| Показатели | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 (10 мес.) | 2006 |
|---|---|---|---|---|---|
| Среднесписочное количество автомобилей, ед. | 55.6 | 55.8 | 57.0 | 59.6 | 59.7 |
| Объемы перевозок, тыс. т | 44026.2 | 49115.2 | 61582.6 | 63052.1 | 74222.2 |
| Грузооборот, тыс. ткм | 127092.5 | 137756.9 | 169362.7 | 190244.4 | 224558.9 |
| Среднее расстояние перевозок, км | 2.89 | 2.80 | 2.75 | 3.02 | 3.03 |
| Коэффициент использования парка, ед. | 0.634 | 0.663 | 0.729 | 0.791 | 0.788 |
| Коэффициент использования пробега, ед. | 0.442 | 0.459 | 0.464 | 0.472 | 0.471 |
| Коэффициент использования грузоподъемности, ед. | 0.914 | 0.966 | 0.911 | 0.942 | 0.940 |
| Производительность среднесписочного автомобиля, тыс. т | 792.35 | 880.85 | 1079.52 | 1058.29 | 1243.80 |

*Таблица 6.1. (Продолжение)*

| Показатели | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 (10 мес.) | 2006 |
|---|---|---|---|---|---|
| Производительность среднесписочного автомобиля, тыс. ткм | 2287.58 | 2470.58 | 2968.86 | 3193.15 | 3763.10 |
| Продолжительность рабочего дня, ч | 18.87 | 18.53 | 18.83 | 18.90 | 18.90 |
| Среднесуточный пробег, км | 190.7 | 198.1 | 188.2 | 202.6 | 199.6 |
| Общая грузоподъемность, т | 6827.2 | 6870.5 | 7372.4 | 8054.6 | 8090.0 |
| Средняя нагрузка на автомобиль, т | 117.2 | 112.1 | 127.3 | 139.0 | 139.0 |
| Выработка на списочную автотонну, тыс. т | 6.45 | 7.15 | 8.35 | 7.83 | 9.17 |
| Выработку на списочную автотонну, тыс.ткм | 18.62 | 20.05 | 22.97 | 23.62 | 27.76 |
| Пробег среднесписочного автомобиля, тыс. км | 44.1 | 48.0 | 50.2 | 48.7 | 57.4 |
| **СПРАВОЧНО** | | | | | |
| Автодни в хозяйстве, сут | 20281 | 20352 | 20879 | 18112 | 21781 |
| Автодни в работе, сут | 12853 | 13503 | 15221 | 14324 | 17170 |
| Авточасы в наряде, ч | 242476 | 250211 | 286656 | 270724 | 3244480 |
| **В том числе в движении** | | | | | |
| Количество рейсов, ед. | 385988 | 443255 | 527622 | 493794 | 579634 |
| Общий пробег, тыс. км | 2451.1 | 2674.7 | 2865.3 | 2902.3 | 3427.5 |
| Пробег с грузом, тыс. км | 1084.2 | 1228.7 | 1330.8 | 1368.7 | 1615.2 |
| Грузоподъемность среднесписочного автомобиля, т | 122.9 | 123.2 | 129.2 | 135.2 | 135.6 |
| Эксплуатационная скорость, км/ч | 10.11 | 10.69 | 10.00 | 10.72 | 10.56 |
| Возможный грузооборот, тыс. ткм | 139063.8 | 142588.0 | 185940.0 | 2019992.2 | 238780.2 |
| Календарный фонд, день | 365 | 365 | 366 | 304 | 365 |




**Рис. 6.3. Рост производительности (в %) к предыдущему году (рост грузоподъемности – 104 %).**

вающие производительность среднесписочного автосамосвала и ее рост к предыдущему году.

При практически одинаковой грузоподъемности среднесписочного автосамосвала в 2002 и 2003 г. рост производительности в 2003 г. был 8–11 % (без АСД). Такие же темпы роста были и в предыдущие годы.

При росте грузоподъемности среднесписочного автосамосвала в 2004, 2005 г. 4.9 % рост производительности в 2004 г. (начало внедрения АСД) был около 20 % (с учетом роста грузоподъемности на 17 %); в 2005 г. рост объемов замедлился, но по грузообороту был 26.8 % (20.9 % с учетом роста грузоподъемности).

Рассмотрим организационные и технические особенности процесса внедрения системы «КАРЬЕР» в ОАО «Южный Кузбасс» на Томусинской автобазе и Сибиргинском АТЦ

Несмотря на то, что оба эти предприятия принадлежат ОАО «Южный Кузбасс», используемые системы управления технологическим процессом имеют существенные отличия. Поэтому в рамках единого заказчика специалистами «ВИСТ Групп» было создано программное обеспечение, удовлетворяющее потребностям каждого из этих предприятий. Благодаря содействию специалистов предприятий разработчики получили возможность изучить общую схему производства и отдельные его части и создать новую систему учета и управления технологическим автотранспортом на предприятии.

При разработке программного обеспечения использовался комплексный подход, который коснулся многих подразделений предприятия (начальников автоколонн, отдела эксплуатации, ремонтных цехов, планово-экономического отдела, начальников смен и т. д.). Для эффективного управления производством и обеспечения оптимальной работы внедряемой системы на предприятиях был проведен ряд структурных изменений:

- упразднение должности диспетчера, заносившего данные из путевок;
- упразднение должности статиста;
- введение должности наладчика системы диспетчеризации (в обязанности этого специалиста входит поддержание в рабочем состоянии мобильных объектов);
- изменение роли начальника смены в управлении производственным процессом (сейчас в его обязанности входит решение намного большего числа задач, начиная от составления сменного задания и оперативного управления производством (через него проходит вся информация о работе техники и он может единолично принимать решения о перераспределении самосвалов по маршрутам) и заканчивая подведением итогов смены, данные о которых передаются горному диспетчеру).

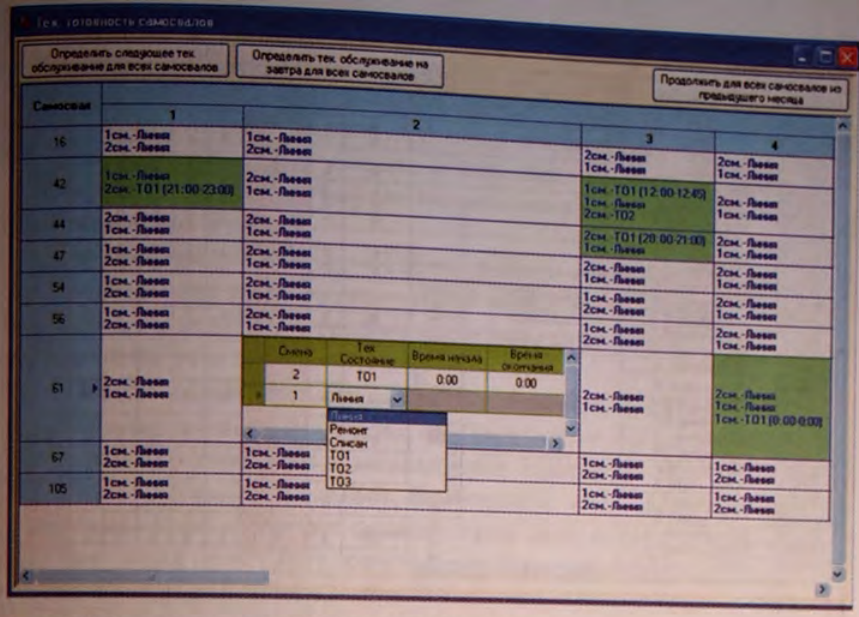



**Рис. 6.4. Форма технической готовности самосвалов.**
Предназначена для контроля за технической готовностью самосвалов и планирования ТО и других циклических работ (плановых ремонтов).

### Управление производством

Процесс управления производством для предприятий ОАО «УК "Южный Кузбасс"» предусматривает следующее распределение функций между специалистами предприятий:

- **Специалист отдела эксплуатации** заполняет форму технической готовности самосвалов (рис. 6.4), указывая в ней машины готовые к выходу на линию и машины для проведения планового технического обслуживания (ПТО) и планового технического ремонта (ПТР). При заполнении данной формы программа выполняет автоматический расчет даты и смены следующего планового обслуживания самосвалов (на основании статистических данных).
- **Начальники автоколонн** осуществляют контроль графика выходов водителей по специально созданной форме (рис. 6.5).
- **Начальник смены** выдает сменное задание самосвалам (рис. 6.6). При этом программа автоматически учитывает самосвалы, готовые к выходу на линию и определяет на них водителей. Здесь же формируются ремонтные листы: как плановые (на основе технической готовности), так и внеплановые (возникшие в течение смены). Самосвалам, которые не были распределены на линию или в ремонт, выдается акт целосменного простоя.

На этапе составления сменного задания Система автоматически рассчитывает число самосвалов, необходимое для вывоза заявлен-



13 Зак. № 4488

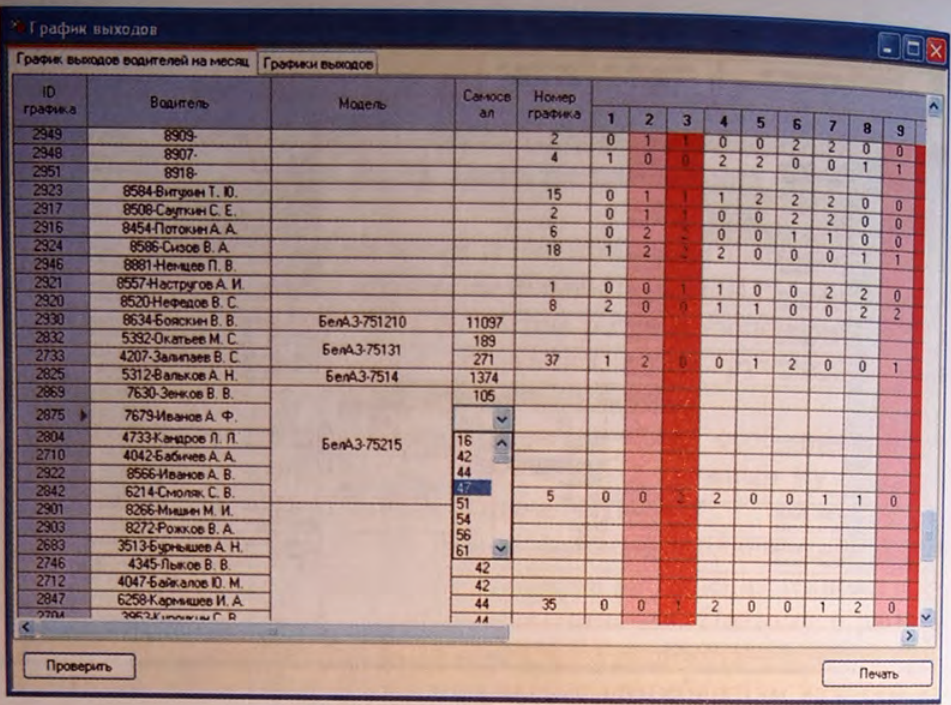



**Рис. 6.5. График выхода водителей.**
Данная форма предназначена для планирования выходов водителей на месяц.

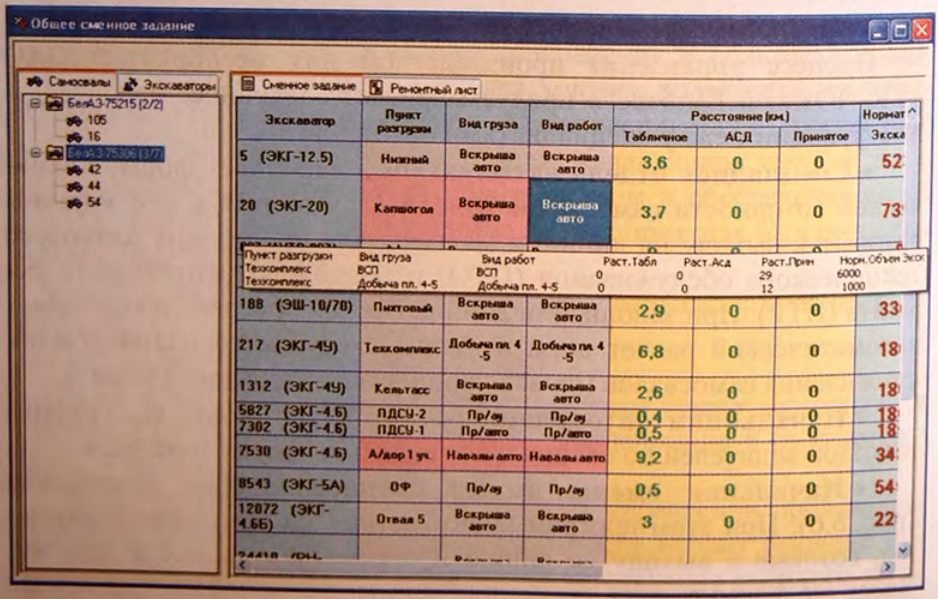



**Рис. 6.6. Форма выдачи сменного задания.**

ных объемов по экскаваторам. По окончании формирования сменного задания печатаются путевые листы. На протяжении рабочего времени начальник смены контролирует простои (определяя причину), сходы, перегоны, загруженность маршрутов. В этом ему помогают аналитические формы (например, график исполненного движения самосвалов, графики выполнения планов самосвалами и экскаваторами и др.).

По окончании смены в «Табеле работы самосвалов» начальник смены подводит итог работы. Имея перед собой карту работы самосвалов, на которой в графическом виде представлена вся информация по их работе.

• После окончания смены пользователи Системы могут просмотреть и распечатать отчеты, отображающие статистические данные о работе самосвалов и экскаваторов. Например, объемы за смену по видам грузов (видам работ, самосвалам, экскаваторам, участкам, разрезам), отчет о работе экскаваторов (рис. 6.7) (отображает временные характеристики), отчеты о работе самосвалов (временные характеристики, пробеги, эксплутационная и техническая скорости).

• **Специалист топливного отдела** ведет учет движения топлива по самосвалам, контролируя уровень топлива на начало/конец смены, объем заправок, расход по путевым и ремонтным листам. Информация по расходу топлива доступна как в графическом виде, так и в форме отчетов.

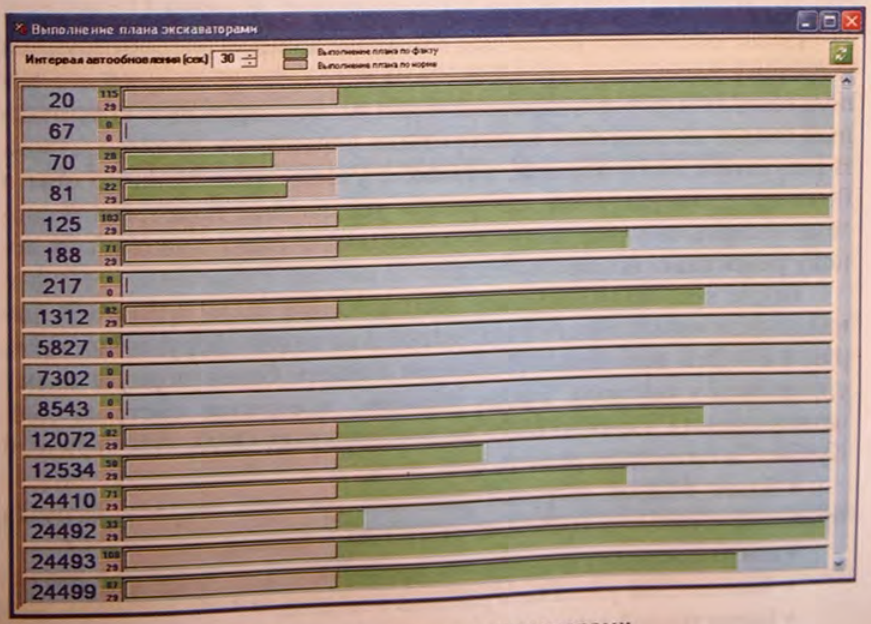



**Рис. 6.7. Контроль выполнения планов экскаваторами.**

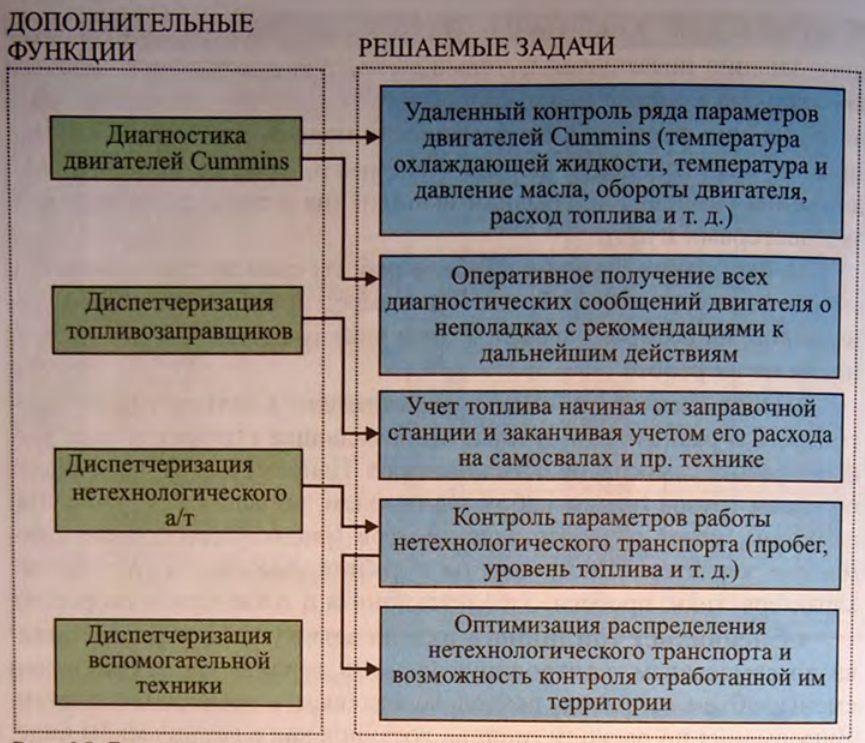



**Рис. 6.8. Внедрение дополнительных функциональных модулей в систему диспетчеризации ГТК «КАРЬЕР» для предприятий ОАО «УК «Южный Кузбасс».**

После окончания смены все итоговые данным экспортируются в систему управления производством «1С» для последующего использования и расчета заработной платы. Был проведен комплексный анализ по способам и алгоритмам управления производством. В результате этого анализа, а также с учетом накопленного опыта были предложены новые алгоритмы управления, подсчетов и систематизации, которые после согласования и были положены в основу реализации новой Системы.

После нескольких месяцев эксплуатации, было принято решение подключить к системе еще несколько видов оборудования (см. рис. 6.8). Это позволило Компании создать более полную схему управления и контроля. Таким образом, внедрение системы диспетчеризации ГТК «КАРЬЕР» на предприятиях ОАО «УК "Южный Кузбасс"» позволило решить проблемы:

- более полной загрузки рабочего времени (первая загрузка происходит раньше, последняя разгрузка – позже);
- сокращения внутрисменных простоев;
- уменьшения удельного расхода топлива;
- более точной загрузки самосвалов;

• оптимальной загрузки маршрутов (самосвалы равномерно распределяются по пунктам загрузки/разгрузки, отсутствие простоя экскаваторов).

### 6.1.3. Внедрение системы «КАРЬЕР» в ОАО «СУЭК»

Кроме разрезов ОАО «Южный Кузбасс», автоматизированная система диспетчеризации «КАРЬЕР» внедряется на разрезах ОАО «Сибирская угольная Энергетическая компания» (СУЭК). СУЭК – крупнейшее в России угольное объединение и единственная отечественная компания, входящая в десятку лидеров мирового угольного рынка по объемам добычи угля. Компания обеспечивает около 30 % поставок энергетического угля на внутреннем рынке и примерно 20 % российского угольного экспорта. Филиалы и дочерние предприятия СУЭК расположены в Красноярском, Приморском и Хабаровском краях, Иркутской, Читинской и Кемеровской областях, в Бурятии и Хакасии. В 2007 г. начато внедрение системы в Иркутском филиале СУЭК (разрез «Тугнуйский») и на разрезе «Заречный» в Кемеровской области. Внедрение системы на одном из крупнейших разрезов компаний – Тугнуйском – предполагает оснащение бортовым оборудованием парка автосамосвалов (13 а/с БелАЗ 7548, 17 а/с БелАЗ 7555, БелАЗ 7512, БелАз 75131, БелАЗ 75145); 3 топливозаправщиков; 19 экскаваторов; 3 локомотива.

Срок окупаемости системы по оценкам специалистов компании составит 11 месяцев, экономический эффект будет достигнут за счет сокращения затрат на приобретение нового/замену старого оборудования, уменьшения эксплуатационных годовых расходов и получения дополнительной прибыли от увеличения объема добычи.

### 6.1.4. Этапы внедрения системы диспетчеризации в ЗАО «ЛуТЭК»

В 2006 году началось внедрение в разрезоуправлении «Лукчегорское» (ЗАО «ЛуТЭК») на Дальнем Востоке.

Основные виды деятельности этого предприятия:

• добыча бурого угля Бикинского месторождения;

• эксплуатация производств и объектов угольной промышленности;

• ремонт горно-транспортного оборудования.

Подразделения:

• горные участки (скрыша наносов и добыча угля);

• горнотранспортный участок (перестройка железнодорожных путей и тупиков по разрезу);

• участок № 3 (приемка и разгрузка угля на вагоноопрокидывателях);

• участок № 4 (добыча строительного камня и выполнение БВР);
• участок № 6 (ремонт и эксплуатация бульдозеров, грейферных и дизельных экскаваторов);
• дренажный участок;
• участок энергоснабжения;
• ремонтно-механические мастерские;
• монтажно-наладочное управление;
• маркшейдерская служба.

Базовая структура внедряемой Системы:
• 6 диспетчерских пунктов;
• экскаваторы (47 ед.);
• локомотивы (42 ед.);
• хоз.единицы (8 ед.);
• автосамосвалы (56 ед.);
• гидравлические экскаваторы (8 ед.);
• бульдозерная и дорожностроительная техника (26 ед.);
• топливозаправщики (3 ед.).

Мобильные объекты:
• экскаваторы (ЭР-1250 – 4 шт., ЭКГ-5А – 5 шт., ЭКГ-8И – 12 шт., ЭКГ-10 – 4 шт., ЭКГ-15 – 3 шт., ЭШ 6/45 – 4 шт., ЭШ 10/70 – 6 шт., ЭШ 11/70 – 10 шт.);
• локомотивы (ТЭМ-7 (ТЭМ-7А) – 30 шт., ТЭМ-2 (ТЭМ-18 и т.п.) – 12 шт.);
• хозяйственные единицы;
• автосамосвалы;
• гидравлические экскаваторы;
• бульдозерная и дорожностроительная техника;
• топливозаправщики.

Цель внедрения:

1) увеличение производительности ГТК от 5 до 15 % за счет автоматизированной диспетчеризации и сокращения всех видов простоев оборудования;

2) повышение уровня загрузки автосамосвалов на 5–12 % за счет непрерывного контроля уровня загрузки и повышения эффективности использования емкости автосамосвалов;

3) сокращение удельного потребления дизельного топлива на 1–5 % за счет строгого автоматизированного учета;

4) снижение расхода шин на 1–3 % за счет автоматизированного учета пробега, веса перевезенного груза в сравнении с установленными нормами;

5) автоматизация управления качеством угля на основе автоматического учета объемов добычи в реальном режиме времени;

6) повышение эффективности оперативного управления работой предприятия за счет непрерывного обеспечения диспетчерско-

го и управленческого персонала полной и достоверной информацией о текущем положении и состоянии всех элементов ГТК.

Топливная составляющая сейчас достигает 60 % в цене произведенного кВт·ч, что делает продукцию ЗАО «ЛуТЭК» одной из самых дорогих в регионе. В свою очередь, высокая себестоимость лучегорского угля является, прежде всего, следствием сложности разрабатываемого месторождения и высокого коэффициента вскрыши. Важнейшим фактором снижения издержек горного производства является эффективное использование горно-транспортного оборудования и материалов. Существующая же в настоящее время в разрезоуправлении «Лучегорское» система диспетчерского управления основана на «голосовой» связи, письменном учете и «ручном» сборе-обработке статистических данных. Такой подход не позволяет обеспечивать оперативность управления, качество учета и анализа работы горного комплекса. Высокому уровню механизации, энерго- и материалоемкости производства должна соответствовать и современная система реализации технических возможностей горного оборудования, которая бы исключала ее неэффективное и нецелевое использование. Для достижения этого результата утвержден инвестиционный проект по внедрению автоматизированной системы диспетчерского управления всем комплексом горного производства ЗАО «ЛуТЭК» с использованием GPS – технологии, позволяющей оптимизировать работу оборудования, снизить издержки на производство горных работ.

Реализация первого этапа системы предусматривает диспетчеризацию технологического автотранспорта, дорожно-строительной техники, бульдозеров, дизельных экскаваторов и топливозаправщиков как наиболее мобильной и трудноконтролируемой части горного комплекса. На втором этапе в систему будет включен железнодорожный транспорт и карьерные экскаваторы. На третьем – планируется автоматизация системы электроснабжения горных работ и интеграция в диспетчерскую систему ЗАО «ЛуТЭК».

В ходе углубленного изучения проекта и его возможностей специалисты ЗАО «ЛуТЭК» и разрезоуправления побывали на ряде российских предприятий, уже внедривших автоматизированную диспетчерскую систему, и проанализировали экономическую эффективность от ее реализации. В результате всестороннего анализа было установлено, что уже за 5 месяцев эксплуатации система позволяет: увеличить производительность парка автосамосвалов «БелАЗ» на 25 %; сократить среднее расстояние транспортирования за счет оперативного управления распределением автосамосвалов БелАЗов по забоям и отвалам на 12 %; обеспечить снижение расхода дизельного топлива на 6 %; практически полностью предотвратить случаи несанкционированного отбора диз-

топлива; обеспечить исчерпывающий объем сбора, накопления и анализа статистических данных в автоматическом режиме, оптимизировать работу горно-транспортного оборудования. Система диспетчеризации горно-транспортного оборудования положительно влияет на увеличение времени его производительного использования в течение рабочей смены, обеспечивает экономию ресурсов при достижении заданных объемов производства, повышает трудовую и технологическую дисциплину персонала, предоставляет возможность объективно оценивать деятельность служб и участков предприятия, более эффективно решать задачи оперативного управления работой карьера, в том числе оптимизации грузопотоков, поддержания проектного качества угля на складах, необходимой производительности оборудования, а также управления заправками и пр.

Планируется, что второй этап внедрения автоматизированной системы диспетчеризации горного производства будет завершен уже в 2007 г.

## 6.2. Опыт внедрения и эксплуатации систем на рудных карьерах

### 6.2.1. Внедрение системы «КАРЬЕР» в ОАО «Стойленский ГОК»

На протяжении последних пяти лет компания «ВИСТ Групп» вела интенсивные разработки и внедрение систем диспетчеризации погрузочно-транспортных комплексов на железорудных карьерах России и Украины.

Интересен опыт внедрения системы «КАРЬЕР» в ОАО «Стойленский ГОК».

Стойленский горно-обогатительный комбинат – одно из ведущих предприятий России по объему производства сырья для черной металлургии. Основная продукция комбината – железорудный концентрат (67 % Fe) и железная агломерационная руда.

Территориально предприятие ОАО «Стойленский ГОК» (СГОК) расположено на Среднерусской возвышенности, на севере Белгородской области, близ города Старый Оскол, т.е. в центральной части северо-восточной полосы Курской магнитной аномалии.

СГОК осуществляет добычу железной руды открытым способом. Разрабатывается один карьер почти круглой формы в плане, диаметром 2.5–3 км (рис. 6.9).

В 2006 г. Стойленский карьер имел глубину 325 м относительно поверхности, но, ввиду холмистого рельефа, местами высота борта карьера несколько больше.



**Рис. 6.9. План карьера Стойленского ГОКа.**

Добываемые полезные ископаемые: железная руда (неокисленные кварциты, богатая руда), сланец, мел, глина. Объем добычи руды – 25 млн т в год (данные за 2005 г., объемы добычи ежегодно возрастают на несколько процентов). Виды продукции: аглоруда, железнорудный концентрат, в перспективе окатыш.

Объем вскрыши – 17 млн $м^3$ в год.

Технологические условия добычи:

- расстояние транспортирования автосамосвалами: кварцит – 2.85 км, руда богатая – 1.85 км, вскрыша – 2.50 км;
- расстояние транспортирования железнодорожным транспортом: руда – 13 км, вскрыша – 7 км;
- уклон технологических автодорог - не более 80‰;
- тип дорожных покрытий: щебеночное, укатанное (щебень из сланца);
- климатические условия соответствуют местности – умеренно-континентальный климат с умеренно холодной зимой и теплым летом:

– среднегодовая температура +3.6°С, абсолютный минимум - 41°С, абсолютный максимум +41°С;

– продолжительность безморозного периода 150–170 дней в году;

– среднегодовое количество осадков 600 мм, преимущественно с апреля по октябрь;

– среднегодовая мощность снегового покрова 0.32 м, глубина промерзания почвы составляет 1–1.5 м.

По принятой на предприятии технологии, с периодичностью примерно раз в 2–3 недели в карьере производится массовый взрыв. Затем горная масса, полученная в результате взрывов, грузится экскаваторами-мехлопатами и вывозится из карьера.

Мягкая вскрыша и малорудная масса транспортируется в отвалы железнодорожным транспортом и/или автосамосвалами относительно малой грузоподъемности (от 40 т). Из прямых забоев вскрышные породы – мел, мергель, глина, песок, сланцы перемещаются во внешние отвалы, расположенные южнее и западнее карьера, непосредственно железнодорожным транспортом.

Богатая руда (45–62 % Fe, среднее содержание 51.5 %), в основном, с одного накопительного склада, иногда и с резервного, вывозится на склады дробильно-сортировочной фабрики железнодорожным транспортом, откуда после дробления отгружается металлургическим предприятиям.

Железистый кварцит с меньшим содержанием Fe (плановое месячное, округленно 34 % $Fe_{общ}$, 27 % $Fe_{маг}$) требует обогащения перед отправкой потребителю. Руда загружается в забоях экскаваторами типа ЭКГ в карьерные автосамосвалы марки БелАЗ грузоподъемностью 120–130 т, которые транспортируют ее к перегрузочным складам, находящимся в карьере. Расстояние транспортирования составляет около 3 км, высота подъема – 100–200 м. На этих складах производится перегрузка сырья в железнодорожные составы по 8–9 думпкаров, после чего оно доставляется локомотивами из карьера на обогатительную фабрику. На фабрике прибором МВ-5 производится входной контроль фактического качества доставляемой руды. Обогатительная фабрика имеет сравнительно небольшие аккумулирующие емкости (бункеры) для приема поступающей из карьера руды, которая почти сразу же поступает на обогащение. Фабрика производит железорудный концентрат (в перспективе окатыш), который со складов фабрики отгружается потребителю.

На перегрузочные склады автосамосвалами транспортируются также сланцы, которые направляются на дробильно-сортировочную фабрику для получения щебня. Щебень используется для прокладки и ремонта технологических автодорог внутри или вне карьера, в зависимости от содержания Fe. При отсутствии заказа на сланцы они вывозятся с перегрузочных складов железнодорожными составами в отвалы.

Горно-технический комплекс имеет следующий состав.

а) Добывающая техника (рудоуправление):

• буро-взрывная техника (мобильные буровые станки, взрывные машины);

• экскаваторы и бульдозеры, использующиеся непосредственно на добыче руды и производстве вкрышных работ.

б) Автотехника (авто-транспортный цех):

• технологические автосамосвалы делятся на большегрузные – марки БелАЗ грузоподъемностью 100 т и более, и автосамосвалы меньшей грузоподъемности – марок БелАЗ, КрАЗ и др., использующиеся на вскрышных работах, дорожно-строительных и дорожно-ремонтных работах и частью – на транспортировке рудной массы, в частности, при очистке горизонтов после взрывов;

• дорожно-строительная техника бульдозеры-экскаваторы, грейдеры, скреперы и т. п.;

• вспомогательный парк машин: тягачи, автобусы повышенной проходимости, грузовики;

• топливозаправщики;

• поливо-оросительные машины.

в) Железнодорожная техника, станционное и путейное хозяйство (железнодорожный цех). Внутренний железнодорожный транспорт комбината обслуживает все 9 перегрузочных складов карьера. Железнодорожная сеть, кроме разъездных путей, тупиков, переводных стрелок и т. п., содержит 7 станций (в ближайшей перспективе их число увеличится), которые обеспечивают обслуживание (осмотр, очистку, мелкий ремонт) и использование подвижного состава. Дежурный (сменный) железнодорожный диспетчер управляет работой подвижного состава, исходя из объема и адресовки вагонов в рамках месячного плана и собственного сменно-суточного задания.

г) Кроме того, на СГОК используется и конвейерная транспортная схема. Экскаваторно-конвейерный комплекс (роторный экскаватор KU-800) занят на расширении восточного и северного бортов карьера и добыче мела. Меловые массы транспортируются при помощи конвейеров вдоль восточного и южного бортов в меловые отвалы, находящиеся за западным бортом карьера. Координация работы данного комплекса в течение смены возложена на горного диспетчера и горного мастера участка конвейерной вскрыши.

Горный диспетчер в течение смены при помощи радиосвязи с водителями перераспределяет самосвалы в целях *усреднения процентного содержания железа в шихте* и наиболее рационального использования транспортных средств. Непосредственно в карьере, кроме других технических и организационных задач, этой работой занимаются горные мастера участков и начальник смены водителей самосвалов, оперативно подчиняющиеся горному диспетчеру.

В карьере, в местах наиболее интенсивного движения автосамосвалов, установлены контрольные пункты, оснащенные компьютерами. При помощи программного обеспечения, установленного на этих компьютерах, операторы шихтоподготовки отмечают факт и время проследования каждого самосвала от забоев к перегрузочным складам по гаражным номерам машин, вводя эти сведения в ныне действующую компьютерную систему, разработанную до внедрения автоматизированной диспетчерской системы «КАРЬЕР». Эти данные являются основой для последующего составления сменного задания/рапорта о фактической работе экскаваторов и самосвалов, добытых и перемещенных горных массах, для других отчетных материалов, а также используются в случаях поломки того или иного транспортного средства при перераспределении автосамосвалов между экскаваторами и перегрузочными складами.

Таким образом, решению задачи усреднения шихты на Стойленском ГОКе способствует только информация о ходе выполнения плановых заданий. При этом велико влияние человеческого фактора при возникающих фактических отклонениях от плановых показателей загружаемой руды и при внезапных поломках автосамосвалов и экскаваторов, что приводит к простоям и снижению эффективности использования техники. Кроме того, по существующей технологии планирование добычи и распределения сырья по перегрузочным складам осуществляется на основе прогнозов геологов и маркшейдеров, составляемых до взрыва рудных блоков на основе химического (в перспективе каротажного) анализа шлама при бурении взрывных скважин. После этого контроль качества руды производится только на обогатительной фабрике, т.е. в самом конце фазы добычи и транспортировки.

Эту и другие задачи (сокращение простоев, уменьшение расхода топлива, продление срока службы мобильных технических средств и др.) решает внедряемая автоматизированная система управления «КАРЬЕР».

На Стойленском ГОКе компанией «ВИСТ Групп» проведены работы по вводу в эксплуатацию системы автоматизированного контроля загрузки и измерения уровня топлива (СКЗиТ), устанавливаемой на большегрузных автосамосвалах. Эта система работает в настоящее время в автономном режиме. В рамках внедрения автоматизированной системы диспетчеризации на автосамосвалах и на других предусматриваемых мобильных объектах установлены средства глобального позиционирования GPS и средства цифровой автоматической радиосвязи с диспетчерским центром, а также произведен монтаж и наладка оборудования и программного обеспечения диспетчерского центра и радиоцентра системы.

Поскольку система находится в начальной стадии внедрения, то пока отсутствует статистическая информация по результатам ее эксплуатации на Стойленском ГОКе.

Однако, имеются положительные отзывы и о работе бортовой системы СКЗиТ на большегрузных карьерных автосамосвалах в офф-лайновом режиме, т.е. без подключения к системе диспетчеризации. В частности, сократился расход топлива, уменьшились недогрузы и перегрузы, что способствует сбережению автотехники, эффективности ее использования и косвенно положительно отражается на точности шихтоподготовки. Кроме того, выполнен прогнозный анализ экономический эффективности внедрения автоматизированной системы диспетчеризации по стандартной методике, используемой в организации.

Экономический анализ первого этапа внедрения (½ года) проводился исходя из следующих предпосылок, возникших из практики внедрения системы «КАРЬЕР» (табл. 6.2).

Применялись значения, характерные для ОАО «Стойленский ГОК», следующих исходных показателей: средний расход дизтоплива по автосамосвалам, средний пробег за смену, средняя цена топлива, средняя стоимость перевезенной горной массы, объем перевезенной горной массы за год, количество автосамосвалов, включенных в первый этап внедрения системы (22 ед. БелАЗ грузоподъемностью 120–130 т). Учитывались также расходы на персонал, необходимый для обслуживания системы и на ее содержание, в том числе во время внедрения. Следует заметить, что затраты инвестора выше, чем требуются только на оснащение 22 самосвалов, так как на этом же этапе устанавливается и налаживается диспетчерский центр и радионавигационный комплекс системы.

Основные результаты расчетов экономической эффективности приведены в табл. 6.3.

Из экономического анализа повышения эффективности использования карьерной техники в условиях применения автоматизированной системы управления «КАРЬЕР» на Стойленском ГОК были сделаны следующие выводы.

1. Чистые дисконтированные денежные потоки (ЧДДП) положительны (это основной критерий) и достаточно велики.

2. Внутренние нормы доходности (ВНД) достаточно высоки и значительно превышают значение требуемой нормы прибыли.

3. Сроки окупаемости значительно ниже половины срока службы оборудования.

4. Затраты на внедрение системы диспетчеризации гарантированно окупятся через 8 месяцев после ввода системы в промышленную эксплуатацию.

*Таблица 6.2*

**Экономический эффект от внедрения системы**

| Показатель | Гарантированное значение | Экспертное мнение |
|---|---|---|
| Снижение расхода ГСМ, % | 3 | 10 |
| Повышение производительности самосвалов, % | 5 | 12 |

Важно заметить, что реальные сроки окупаемости могут опережать прогнозируемые, производительность возрастать выше указанного в расчетах значения, сокращение расхода топлива также может быть больше расчетного. Уже становится очевидным следующий результат: в короткий срок стоимость внедрения автоматизированной системы управления окупается одной только экономией топлива технологическими автосамосвалами за счет их более рационального использования, и с первого же года эксплуатации появляется ежегодная чистая прибыль предприятия, получаемая от внедрения системы.

*Таблица 6.3*

**Расчет экономической эффективности системы «КАРЬЕР» на Стойленском ГОКе**

| № | Наименование показателя | Ед. изм. | Вариант с гарантированным эффектом | Вариант согласно экспертному мнению |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Период оценки | лет | 7 | |
| 2 | Экономия топлива | тыс. руб./год | 9 251.0 | 30 836.7 |
| 3 | Прибыль от повышения производительности | тыс. руб./год | 4 400.0 | 10 560.0 |
| 4 | Экономия на приобретении автосамосвалов (без НДС) | тыс. руб. | 24 284.6 | 58 283.0 |
| 5 | Средневзвешенная стоимость капитала (ССК) | % | 15.4 | |
| 6 | Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДДП) | тыс. руб. | 29 106.3 | 145 353.4 |
| 7 | Внутренняя норма доходности (ВНД) | % | 91.8 | 543.1 |
| 8 | Дисконтированный срок окупаемости после ввода мощностей | мес. (лет) | 8 мес. после ввода | 4 мес. после ввода |

### 6.2.2. Внедрение системы «КАРЬЕР» на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

В 2005 году началось внедрение системы диспетчери-зации большегрузных транспортных средств в цехе Рудник Горно-обогатительного производства ОАО «ММК».

Открытое акционерное общество «Магнитогорский металлургический комбинат» является крупнейшим предприятием чёрной металлургии России, его доля в объёме металлопродукции, реализуемой на внутреннем рынке страны, составляет около 20 %. Предприятие представляет собой крупный металлургический комплекс с полным производственным циклом, начиная с подготовки железорудного сырья и заканчивая глубокой переработкой черных металлов. ММК производит самый широкий на сегодняшний день сортамент металлопродукции среди предприятий Российской Федерации и стран СНГ. Около половины продукции ОАО «ММК» экспортируется в различные страны мира.

Магнитогорский рудник является местной сырьевой базой Магнитогорского металлургического комбината. Рудник начал свою работу в 1931 году и на текущий момент добыл более 600 миллионов тонн железной руды.

В настоящее время Магнитогорский рудник ведет добычу железной руды на месторождениях Малый Куйбас, Восточной части г. Магнитной, месторождении Подотвальное, добычу известняка и доломита на Агаповском месторождении известняков и Лисьегорском месторождении доломитов. Кроме этого на месторождениях Малый Куйбас и Восточной части г. Магнитной ведется попутная добыча строительного камня и пустых пород, пригодных в качестве строительного камня. Добываемый строительный камень с М. Куйбаса частично перерабатывается на щебеночной фабрике М. Куйбаса, а частично отправляется на дробильно-сортировочную фабрику ГОП. Не востребованная часть строительного камня, складируется в спец. отвал. Горные работы на этих месторождениях ведутся открытым способом с использованием буровзрывных работ.

Основными целями внедрения системы были:

- повышение эффективности оперативного управления работой большегрузных самосвалов за счет обеспечения диспетчерского и управленческого персонала информацией о текущем положении и состоянии транспортных средств, оснащенных бортовыми комплектами оборудования и находящихся в зоне работы системы, количества сделанных рейсов, перевезенной массы грузов, расхода топлива и других характеристик работы транспортных средств;
- увеличение достоверности и повышение оперативности учета и контроля работы персонала и оборудования.

В настоящий момент система диспетчеризации установлена на двух карьерах: карьер Малый Куйбас и месторождение Подотвальное. На Малом Куйбасе в запущен диспетчерский центр, оснащено 49 автосамосвалов БелАЗ 7547 и 16 экскаваторов. На месторождении Подотвальном запущен диспетчерский центр и 26 БелАЗов 7547.

Для ООО «ВИСТ Групп» Магнитогорский проект явился первым масштабным внедрением системы диспетчеризации для малотоннажных автосамосвалов БелАЗ, в ходе которого проводились значительные исследовательские и экспериментальные работы по установке систем контроля загрузки на автосамосвалы грузоподъемностью до 55 тонн.

В результате внедрения системы вскрылось значительное количество нарушений: приписки рейсов, значительные сливы топлива, превышения скоростных режимов, плохая трудовая дисциплина. Внедрение системы контроля работы транспорта столкнулось с значительным сопротивлением со стороны водителей и обслуживающего персонала. Усиленное внимание службы безопасности ОАО «ММК», в том числе с использованием данных системы диспетчеризации, привело к нескольким уголовным делам, связанным с массовыми сливами дизельного топлива и увольнением сотрудников.

Основными решаемыми задачами на Руднике Магнитогорского металлургического комбината являются:

- увеличение времени производительного использования оборудования в течение рабочей смены (за счет учета и анализа загрузки а/с, простоев и т.д.);
- обеспечение экономии ресурсов при достижении необходимых объемов производства (за счет учета и анализа расхода топлива, скоростных режимов и т.д.);
- повышение трудовой и технологической дисциплины персонала (за счет учета и анализа скоростных режимов, загрузки а/с, простоев и т.д.);
- объективная оценка деятельности служб и участков предприятия;
- более эффективное решение задач оперативного управления работой карьера (в т. ч. задачи оптимизации грузопотоков, поддержания требуемого содержания полезных компонентов в руде на складах, обеспечения необходимой производительность оборудования, а также управления заправками);
- планомерное техническое обслуживание и ремонт парка машин предприятия, а также мониторинг и учет шин и решение простых складских задач.

Основными достигнутыми результатами являются:

- выравнивание оперативного и маркшейдерского учета (ранее расхождение составляло порядка 15%) за счет снижения приписок,

• увеличение продолжительности каждой рабочей смены на 30 минут за счет контроля выхода самосвалов в карьер в возвратов на площадку пересменки.

Опыт эксплуатации системы диспетчеризации на ОАО «ММК» в очередной раз показал, что главным фактором успешной работы системы являются внимание высшего руководства, заинтересованного в объективной и оперативной оценке деятельности производства, и готовность предприятия идти на организационные изменения для более эффективного использования информационных технологий при оперативном управлении производством.

Дальнейшие направления развития системы диспетчеризации большегрузных транспортных средств горно-обогатительного производства ОАО «ММК»:

• интеграция с корпоративной информационной системой ОАО «ММК» с целью оперативного контроля производственных процессов от добычи руды до отправки металла конечного потребителю;

• интеграция с независимыми автозаправочными станциями для организации коммерческого учета топлива в единой базе системы диспетчеризации;

• расширение оснащаемого парка мобильной техники для более полного учета работы транспорта.

### 6.2.3. Внедрение системы «КАРЬЕР» на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

Система управления ГТК «КАРЬЕР» внедрена также на крупнейших горнодобывающих предприятиях Украины – Северном, Центральном ГОКе, Ингулецком и Полтавском ГОКах.

Цель внедрения:

• повышение эффективности оперативного управления работой горно-транспортного оборудования Системы за счет обеспечения диспетчерского и управленческого персонала информацией о текущем положении и состоянии транспортных средств, оснащенных бортовыми комплектами оборудования и находящихся в зоне работы системы (карьера);

• увеличение достоверности и повышение оперативности учета и контроля работы персонала и оборудования.

ОАО «Северный горно-обогатительный комбинат» – это крупнейшее горнодобывающее предприятие в Европе с законченным циклом подготовки доменного сырья – железорудного концентрата и окатышей. В состав комбината, наряду с двумя карьерами общей проектной мощностью 48.5 млн т сырой руды в год, входят одна обогатительная фабрика мощностью 20.47 млн т железорудного концентрата в год, три фабрики окомкования мощностью 16.3 млн т в год, а также ряд вспомогательных цехов, обслуживающих



14 Зак. № 4488

основное производство. Добыча руды в карьерах ведется открытым способом с применением буровзрывных работ и транспортировании вскрышных пород во внешние отвалы.

На карьерах используется современное высокопроизводительное оборудование: экскаваторы, буровые станки, автосамосвалы, бульдозеры.

ОАО «Центральный горно-обогатительный комбинат» и «Северный горно-обогатительный комбинат» (Украина) завершили первый этап внедрения системы автоматизированной диспетчеризации на основе спутниковой технологии GPS:

Базовая структура внедряемой Системы:

• бортовые комплекты оборудования ТС – автосамосвалы, тепловозы;

• подсистемы цифровой радиосвязи ДЦ и ТС;

• подсистема управления каналами радиосвязи – 2 ед.;

• программно-аппаратный комплекс ДЦ (прикладная система).

Мобильные объекты:

• карьерные экскаваторы с емкостью ковша от 4.6 до 12 м3;

• буровые станки СБШ-250МНА;

• автосамосвалы грузоподъемностью 110-130 тонн (БелАЗ 75131 – 30 ед. для полного оснащения);

• тепловозы 2ТМ-10М;

• думпкары 2ВС-105.

Внедрение инновационных технологий позволяет повысить эффективность работы предприятий. Система диспетчеризации обеспечивает ежеминутный контроль за движением, определяет местонахождение транспортных средств в карьерах. Расход горюче-смазочных материалов снижается на 5 %, производительность автотранспорта повышается в среднем на 5–8 %. К системе уже подключены 49 большегрузных автомобилей СевГОКа и 34 большегрузных автомобиля и и 38 тепловозов ЦГОКа.

Дальнейшее внедрение системы автоматизированной диспетчеризации на основе технологии GPS планируется на железнодорожном и другом горно-транспортном оборудовании Северного ГОКа.

Базовая структура внедряемой Системы:

• 1 радиоцентр;

• 2 карьера;

• примерно 10 рабочих мест;

• автосамосвалы (25 ед.).

Мобильные объекты:

• автосамосвалы (25 ед.).

Цель внедрения:

• повышение эффективности оперативного управления работой большегрузных самосвалов за счет обеспечения диспетчерского и

управленческого персонала информацией о текущем положении и состоянии транспортных средств, оснащенных бортовыми комплектами оборудования и находящихся в зоне работы системы;

• увеличение достоверности и повышения оперативности учета и контроля работы персонала и оборудования.

На Полтавском ГОКе система «КАРЬЕР» внедрена в 2001 г. (базовый комплект).

ОАО «Полтавский ГОК» – одно из крупнейших предприятий горнодобывающей промышленности Украины и СНГ. Комбинат - основной в Украине экспортер железорудных окатышей. Более 85 % своей продукции «Полтавский ГОК» экспортирует в Австрию, Румынию, Польшу, Болгарию, Чехию, Словакию, Сербию и Черногорию, Италию и другие страны. Комбинат осуществляет полный технологический цикл от добычи сырой руды до производства железорудных окатышей подготовленного сырья для металлургических заводов.

Сырьевая база комбината – три месторождения Кременчугской магнитной аномалии: Горишне-Плавнинское, Лавриковское, Еристовское. Общие запасы железной руды этих месторождений составляют 2.43 млрд т. В настоящее время ведется разработка одним карьером двух месторождений, а на третьем – Еристовском – выполняются подготовительные работы для дальнейшего строительства карьера.

Мобильные объекты:

• автосамосвалы БелАЗ 75121 – 26 ед., БелАЗ 75224 – 4 ед.;

• автосамосвалы KOMATSU HD 1200 – 16 ед., HD 785-5 – 7 ед.;

• автосамосвалы – 90–120 т.;

• аопливозаправщики.

Цель внедрения:

• повышение эффективности оперативного управления работой горно-транспортного оборудования Системы за счет обеспечения диспетчерского и управленческого персонала информацией о текущем положении и состоянии транспортных средств, оснащенных бортовыми комплектами оборудования и находящихся в зоне работы системы (карьера);

• увеличение достоверности и повышение оперативности учета и контроля работы персонала и оборудования.

Решаемые задачи:

• увеличение времени производительного использования оборудования в течение рабочей смены (за счет учета и анализа загрузки автосамосвалов, простоев и т. д.);

• обеспечение экономии ресурсов при достижении необходимых объемов производства (за счет учета и анализа расхода топлива, скоростных режимов и т. д.);

• повышение трудовой и технологической дисциплины персонала (за счет учета и анализа скоростных режимов, загрузки а/с, простоев и т. д.);

• объективная оценка деятельности служб и участков предприятия;

• более эффективное решение задач оперативного управления работой карьера, в том числе задачи оптимизации грузопотоков, поддержания требуемого содержания полезных компонентов в руде на складах, обеспечения необходимой производительность оборудования, а также управления заправками;

• планомерное техническое обслуживание и ремонт парка машин предприятия, а также мониторинг и учет шин, и решение простых складских задач.

Полтавский ГОК – первое горнорудное предприятие, на котором была внедрена система «КАРЬЕР»

Система диспетчеризации «КАРЬЕР» успешно работает на карьере ОАО «Ингулецкий ГОК». Базовый комплект внедрен в 2003 г. Произведены изменения и дополнения. Система находится в эксплуатации 3 года.

Проектное задание на строительство ИнГОКа утверждено в феврале 1960 г. В структурном плане комбинат представляет собой объединение горно-транспортного и дробильно-обогатительного комплексов, блока вспомогательных цехов и управления. Основное назначение комбината — производство железорудного концентрата в качестве сырья для металлургического передела. Потребители: металлургические комбинаты Украины и ряда стран Восточной Европы.

Комбинат первым среди горнорудных предприятий освоил в промышленном масштабе циклично-поточную технологию добычи руды с использованием автомобильно-конвейерного транспорта. Технологическая схема предусматривает перемещение взорванной руды из забоев автосамосвалами к приемным устройствам концентрационных горизонтов, оборудованных конусными дробилками ККД-1500/180 ГРЩ. После дробления руда наклонными конвейерами по подземным выработкам и наземным галереям подается на обогатительные фабрики.

Добыча железистых кварцитов на комбинате производится открытым способом с использованием экскаваторов с вместимостью ковша 8 и 10 м$^3$.

Для доставки руды на дробильную фабрику применяется комбинированный автомобильно-конвейерный транспорт.

На комбинате используются большегрузные автосамосвалы БелАЗ грузоподъемностью 110 и 120 т. ОАО «ИнГОК» является базовым предприятием по созданию и эксплуатации автоматизирован-

ной системы диспетчерского управления (АСДУ) на горнорудных предприятиях.

Состав комбината:

- карьер производственной мощностью по горной массе 70 млн т/год;
- цех технологического автотранспорта (объем перевозок – более 60 млн т/год);
- железнодорожный цех;
- обогатительные фабрики (мощность более 14 млн т железорудного концентрата);
- дробильная фабрика (34 млн т сырой руды в год);
- информационно-вычислительный центр.

Добычные работы ведутся на глубине 350 м.

Базовая структура внедряемой Системы:

- 1 радиоцентр;
- 2 карьера;
- около 10 рабочих мест;
- автосамосвалы (30 ед.).

Мобильные объекты:

- экскаваторы ЭКГ-6У, ЭКГ-8И, ЭКГ-10, ЭКГ-12.5;
- бульдозеры Т-330, Т-500, Т-700;
- тяговые агрегаты ОПЭ-1А.
- автосамосвалы БелАЗ-75191 (110 т), БелАЗ-7512 (120 т), БелАЗ-7522 (30 т), БелАЗ-7523 (40 т) – всего 42 ед.;

Планируется приобретение и освоение экскаваторов с ковшом до 20 $м^3$, автосамосвалов грузоподъемностью 120–180 т, думпкаров грузоподъемностью 140–160 т.

Решаемые задачи:

- увеличение времени производительного использования оборудования в течение рабочей смены (за счет учета и анализа загрузки автосамосвалов, простоев и т. д.);
- обеспечение экономии ресурсов при достижении необходимых объемов производства за счет учета и анализа расхода топлива, скоростных режимов и т. д.;
- повышение трудовой и технологической дисциплины персонала за счет учета и анализа скоростных режимов, загрузки автосамосвалов, простоев и т. д.;
- объективная оценка деятельности служб и участков предприятия;
- более эффективное решение задач оперативного управления работой карьера, в том числе задачи оптимизации грузопотоков, поддержания требуемого содержания полезных компонентов в руде на складах, обеспечения необходимой производительности оборудования, а также управления заправками;

• планомерное техническое обслуживание и ремонт парка машин предприятия, а также мониторинг и учет шин и решение простых складских задач.

Таким образом, на сегодняшний день на Ингулецком ГОКе в составе системы диспетчеризации «КАРЬЕР» работают 42 автосамосвала, 10 бульдозеров и 2 топливозаправщика. Специалистами комбината был произведен анализ экономической эффективности работы системы. Расчет был выполнен по фактическим данным за 4 месяца (июнь – сентябрь) 2004 г. в сравнении с соответствующим периодом 2003 г. по самосвалам БелАЗ 7512 грузоподъемностью 120 т. Результаты анализа приведены на рис. 6.10., 6.11.

Также было установлено, что только за счет сокращения расхода дизельного топлива на 298 т за указанный период экономический эффект составил более 150 тыс. долл. США.

Также специалистами Ингулецкого ГОКа за время работы системы на предприятии с 2004 по 2007 г. проведен анализ отказов в работе системы (рис. 6.12)




**Рис. 6.10. Увеличение фактического уровня загрузки самосвалов по ОАО «ИнГОК».**

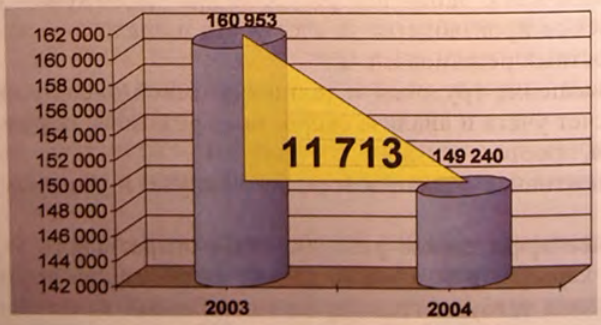



**Рис. 6.11. Снижение потребного числа ходок автотранспорта за счет увеличения загрузки по ОАО «ИнГОК».**

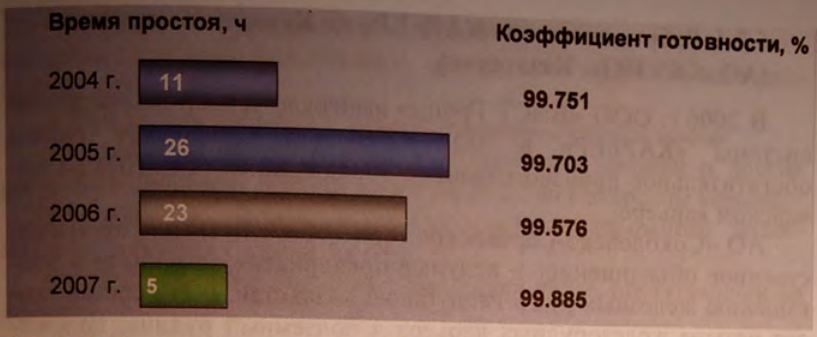



**Рис. 6.12. Статистика отказов АСУ ГТО по ОАО «ИнГОК».**

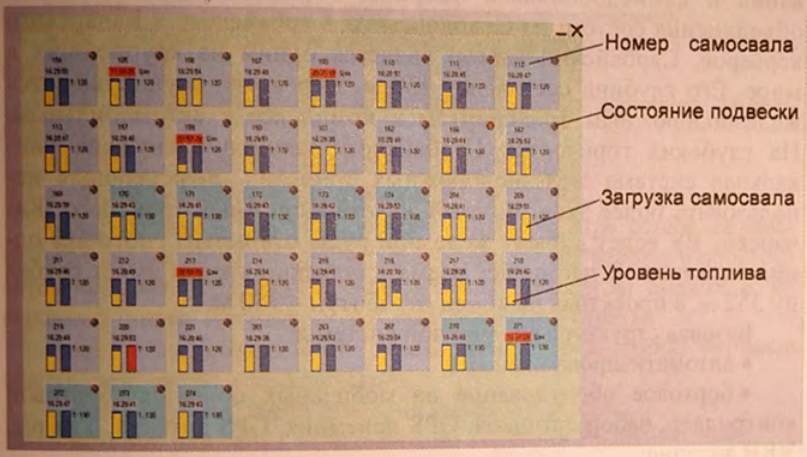



**Рис. 6.13. Мониторинг АСУ ГТО по ОАО «ИнГОК».**

Приведенная статистика показывает, что при правильной эксплуатации системы и соблюдении всех необходимых регламентов по ее обслуживанию, надежность системы достаточно высока.

В настоящее время решается вопрос о расширении числа объектов, вовлеченных в работу системы.

Бортовым оборудованием системы в ближайшее время будет оборудован экскаваторный парк, парк 40 т БелАЗов, бульдозерный и железнодорожный транспорт.

Гибкость базового программного обеспечения системы позволяет специалистам ИнГОКа самостоятельно развивать ее функциональные возможности. Например, на (рис. 6.13) представлена экранная форма, используемая для оперативного мониторинга работы самосвала.

### 6.2.4. Работа системы «КАРЬЕР» на Качарском руднике (АО «ССГПО», Казахстан)

В 2006 г. ООО «ВИСТ Групп» выиграло тендер на внедрение системы «КАРЬЕР» в АО «Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение» (ССГПО) на Качарском карьере.

АО «Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение» – ведущее предприятие по добыче и обогащению железных руд в Республике Казахстан. В его состав входят четыре железорудных карьера и подземный рудник, доломитовый и известняковый карьеры, обогатительная фабрика окомкования и камнедробильная фабрика. Горно-добычной комплекс объединения состоит из Соколовского, Сарбайского и Качарского карьеров. Сарбайский карьер является одним из крупнейших в мире. Его глубина составляет 430 м. Перевозки осуществляются железнодорожным транспортом в комплексе с автомобильным. На глубоких горизонтах Сарбайского карьера сооружена уникальная система железнодорожных тоннелей, позволяющая использовать более экономичный железнодорожный транспорт. Качарское РУ ведет добычу железной руды открытым способом одним карьером. В настоящее время Качарский карьер имеет глубину 352 м, а проектная на конец отработки – 750 м.

Базовая структура внедряемой системы:

- автоматизированный ДЦ;
- бортовое оборудование на мобильных объектах: бортовой контроллер, набор датчиков, GPS приемник, GPS антенна, Укв р/с, УКВ антенна;
- рабочие места пользователей.

Мобильные объекты:

- экскаваторы: ЭКГ-6.3ус – 16 ед., ЭКГ-8И – 14 ед., ЭКГ-10 – 1 ед., ЭКГ-10М – 5 ед., ЭКГ-12.5 – 3 ед., ЭКГ-15 – 1 ед., ЭКГ-4 – 1ед., ЭКГ-5А – 1 ед., ЭШ-6/45 –1 ед., ЭШ-10/70 – 6 ед.;
- автосамосвалы: БелАЗ-75121 (120 т.) – полное оснащение 9 ед., БелАЗ-75145 (120 т.) – дооснащение 16 ед., БелАЗ-75131 (130 т.) – дооснащение 5 ед.;
- электрические локомотивы: тяговые агрегаты ОПЭ-1А – 28 ед., ПЭТ-3М – 5 ед., ПЭТ-1АМ – 4 ед.;
- буровые станки: СБШ-250МНА-32 – 10 ед.;
- думпкары: 2ВС-105;
- дизельные локомотивы: 2ТЭ-10М – 12 ед., ТЭМ-7 – 2 ед.;
- топливозаправщики: БелАЗ 7523 – 1 ед., УРАЛ-4320 – 1 ед., МАЗ 5334 – 1 ед.

Цель внедрения:

• повышение производительности ГТК за счет оперативного контроля хода производственных процессов и эффективного диспетчерского;

• управления добычей и транспортировкой горной массы;

• повышение эффективности использования техники и других ресурсов в процессах добычи железной руды на Качарском карьере;

• повышение производительности железнодорожного транспорта на перегоне Рудный-Качары;

• улучшение качественных показателей руды, поступающей на фабрику.

Внедрение системы на Качарском руднике – одно из наиболее комплексных по составу горного оборудования.

На май 2007 г. бортовое оборудование смонтировано:

• на автотранспортном комплексе: 22 автосамосвала, 2 топливозаправщика;

• на железнодорожном комплексе: 37 тяговых агрегатов, 16 тепловозов;

• на экскаватором комплексе: 47 экскаваторов;

• на комплексе буровых станков: 9 бурстанков.

Оборудованы и запущены в работу 2 радиоцентра, отлажена работа АРМ автомобильного диспетчера: ведется учет работы и простоев автомобильного транспорта, выполняются процедуры выдачи и завершения смены. Активно используются в работе отчеты:

– состояние объектов (автосамосвалы, экскаваторы, буровые станки, тепловозы и электровозы);

– карта карьера, карта перегона Рудный-Качар;

– история движения тепловозов по перегону Рудный-Качар;

– графики уровня топлива в баках тепловозов;

– графики уровня топлива, веса и скорости автосамосвалов;

– превышение скорости автосамосвалами;

– рейсы автосамосвалов (сводка и подробный отчет по каждому автосамосвалу);

– графики активной мощности, потребляемой экскаваторами.

На текущем этапе внедрение системы позволяет решить следующие задачи:

– автоматическое определение местоположения технологических объектов ( экскаваторы, бурстанки);

– автоматическое определение местоположения технологического автотранспорта ( «БелАЗы», «Катерпиллеры», «Коматсу»);

– автоматическое определение местоположения технологического железнодорожного транспорта;

– автоматизированный учет времени работы и простоев технологического оборудования;

– расчет коэффициентов использования оборудования;

– автоматизированный учет времени работы и простоев технологического автотранспорта;

– автоматизированный учет времени работы и простоев технологического железнодорожного транспорта;

– определение веса перевозимой горной массы ( для автосамосвалов марки «Катерпиллер» и «Коматсу»);

– определение мгновенного значения средней скорости движения и пробега за смену, сутки и т. д.;

– подсчет производительности работы автомобильного транспорта;

– подсчет производительности работы технологического оборудования;

– подсчет производительности работы железнодорожного транспорта;

– формирование внутрикарьерных складов руды с заданным содержанием железа в руде согласно планов добычи и планаграфика поставок сырой руды;

– улучшить эффективность работы системы входного контроля качества руды подаваемой на фабрику, за счет точного отслеживания потоков руды с заданным качеством.

Разрабатывается программное обеспечение для интеграции СОДУ ГТК Качарского карьера и системы АСОДУ, а также подготавливается к внедрению программное обеспечение для интеграции системы оперативно-диспетчерского управления (СОДУ) ГТК Качарского карьера и рудоконтрольной станции (РКС).

В ходе эксплуатации системы только за февраль 2007 г. выявлено более 30 случаев слива топлива с топливных баков магистральных тепловозов на перегоне Рудный-Качар, определено место сливов. Информация передана в соответствующие службы АО «ССГПО». В течение марта и апреля 2007 г. случаев слива топлива не зафиксировано.

Также на основе анализа времени простоя и времени выхода в работу автосамосвалов с площадки пересменки силами Качарского РУ и АТУ произведен перенос площадки пересменки. Сократились непроизводственное время и расстояние движения автосамосвалов при пересменках.

Только эти приведенные факты свидетельствуют об эффективности внедрения системы, по оценкам специалистов, система окупила себя еще на стадии своего внедрения.

Предполагается, что на следующих этапах внедрение системы позволит существенно повысить эффективность управления процессами добычи и транспортировки за счет следующих факторов:

– непрерывный контроль местонахождения технологических единиц;

– снижение времени ожидания для экскаваторов;

– снижение незапланированных простоев технологического оборудования;

– более точное выполнение бурения сетки скважин при подготовке к взрывным работам;

– более точного планирования плановых предупредительных ремонтов (ППР) в результате автоматизации учета фактического пробега автосамосвалов;

– более точного планирования ППР горного оборудования в результате автоматизации фактического времени работы экскаваторов и бурстанков;

– более точного планирования ППР локомотивов;

– повышение эффективности распределения между экскаваторами автомобильного транспорта;

повышение точности и оперативности учета расстояний и средних скоростей на внутрикарьерных перевозках.

Имитационное моделирование процессов добычи и транспортировки позволит в перспективе построить автоматизированную диспетчерскую систему, позволяющую осуществить:

– разработку расписания движения технологического железнодорожного транспорта с учетом всех текущих производственных факторов (оптимизация ритмичности поставки сырой руды на выходе из карьера);

– оперативное внесение изменений в расписание движения железнодорожного транспорта в случае нештатных ситуаций;

– динамическое распределение автосамосвалов в режиме реального времени между забойными экскаваторами с учетом текущих производственных факторов (снижение простоев экскаваторов по ожиданию транспорта и простоев автотранспорта по ожиданию погрузки);

– оперативное внесение изменений в распределение автосамосвалов между забойными экскаваторами в случае нештатных ситуаций;

– динамическое формирование заданного качества рудной смеси в штабелях внутрикарьерных складов;

– динамическая оптимизация процессов добычи с учетом проведения ППР на горном оборудовании.

Дополнительно система позволит использовать глобальное позиционирование (GPS) при проведении маркшейдерских работ.

По экспертным данным это позволит увеличить производительность экскаваторно-автомобильного комплекса на 15–20 % и довести коэффициент использования основного оборудования до 0.97.

### 6.2.5. Опыт внедрения системы «КАРЬЕР» в СП «ЭРДЭНЭТ» (Монголия)

В дальнем зарубежье Система внедрена на карьере СП «Эрдэнэт» (Монголия).

Этапы реализации проекта:

СД «КАРЬЕР» установлена во II квартале 2005 г. Сейчас находится на рассмотрении проект второй очереди – по высокоточному позиционированию экскаваторов.

СП «Эрдэнэт» – крупнейшее совместное монголо-российское горно-обогатительное предприятие. Было основано в 1973 г.

Включает в себя рудник открытых работ, обогатительную фабрику, транспортное предприятие, ремонтно-механический завод и другие производственные и вспомогательные цеха, а также жилищные, культурно-бытовые, производственные и вспомогательные объекты, связанные с деятельностью совместного предприятия. Осуществляет добычу и переработку медно-молибденовой руды. В настоящее время 49 % СП принадлежит России, 51 % – Монголии. Акционерами СП с российской стороны является Федеральное агентство по управлению федеральным имуществом, с монгольской – Комитет по государственной собственности Монголии.

Базовая структура внедряемой Системы:

- бортовое оборудование и ПО на автосамосвалах, экскаваторах и другой технике (бортовой контроллер, набор датчиков, GPS приемник, GPS антенна, Укв р/с, УКВ антенна);
- ДЦ (сервер, серверное ПО, радио и коммуникационное оборудование);
- РМ пользователей (администратор, горный диспетчер, маркшейдер, геолог, диспетчер автобазы, произвольный пользователь).

Мобильные объекты:

- автосамосвалы для полного оснащения: БелАЗ 7512 – 6 ед., БелАЗ 75145 – 5 ед.;
- автосамосвалы для дооснащения: БелАЗ 75131 – 11 ед., БелАЗ 75145 – 2 ед.;
- экскаваторы: ЭКГ-10 – 6 ед., ЭКГ-8И – 2 ед.

Цель внедрения:

- повышение эффективности оперативного управления работой большегрузных самосвалов за счет обеспечения диспетчерского и управленческого персонала информацией о текущем положении и состоянии транспортных средств, оснащенных бортовыми комплектами оборудования и находящихся в зоне работы Системы;
- автоматизированного контроля расхода топлива с целью его минимизации;
- улучшения качества шихтовки добываемой руды (окончательное внедрение на последующем этапе);

• увеличения достоверности и повышения оперативности учета и контроля работы персонала и оборудования.

Таким образом, в настоящее время в СП «ЭРДЭНЭТ» бортовое оборудование установлено на все самосвалы, перевозящие руду и вскрышные породы, а также на все экскаваторы и погрузчики, которые могут грузить данные самосвалы. Общее количество – 24 самосвала и 8 экскаваторов и один погрузчик.

Перечислим решаемые задачи.

1. Предотвращение несанкционированных сливов топлива.
2. Учет рейсов самосвалов.

В 2007–2008 гг. система «Карьер», установленная в СП «Эрдэнэт» будет существенно модернизирована в целях решения задач управления качеством руды, поступающей на фабрику. Система будет дополнена следующими программными и аппаратными компонентами.

1. Будет внедрен модуль сменно-суточного планирования работы экскаваторов. Модуль позволяет обрабатывать данные опробования, полученные по скважинами БВР, выполнять построения сортовых планов и планировать работу экскаваторов с учетом равномерного качества руды в течение смены.

2. На экскаваторах будет установлено оборудование, позволяющее отображать графически план работ и высокоточное положение экскаватора на этом плане.

3. Программные компоненты системы будут контролировать отклонения фактического качества руды на пунктах разгрузки.

### 6.2.6. Внедрение систем других отечественных и зарубежных компаний на российских горных предприятиях

Что касается внедрения систем диспетчеризации карьерных комплексов других компаний, то таких объектов немного. Известны реализации системы диспетчеризации ЗАО «Союзтехноком» на ряде угольных разрезов Кузбасса и внедрение системы «Wenco» на Айхальском ГОКе АК «Алроса». На карьере комбината «Карельский окатыш» (Костомукшский ГОК) в 2006 г. приступила к реализации проекта диспетчеризации компания «Modular» (США).

Так, в 2003 г. в ОАО «Разрез Шестаки» запущен в эксплуатацию автоматизированный диспетчерский пост с элементами контроля технических параметров автосамосвалов БелАЗ грузоподъемностью 42–53 т. В 2004 г. в филиале «Кедровский угольный разрез» ОАО УК «Кузбассразрезуголь» введена в эксплуатацию комплексная система учета и контроля работы парка автосамосвалов БелАЗ грузоподъемностью 55–220 т.

На предприятиях ОАО «Полюс Золото» и ООО «Алданзолото ГРК» карьерные автосамосвалы оборудованы автономными борто-

выми системами контроля, которые обеспечивают автоматическую регистрацию весовую загрузку, расход топлива, пробег самосвала, отработанные мото.часы и пр. В дальнейшем планируется интеграция всего технологического транспорта предприятия в единое информационное пространство контроля работы и управления транспортными средствами предприятия. Такими же бортовыми системами оборудованы автосамосвалы на некоторых разрезах ОАО «СУЭК» в Хакасии, Бурятии и в Иркутской обл.

В результате проведенных прогнозных исследований авторами установлено, что емкость российского рынка реализации таких проектов на период до 2015 г. составляет порядка 80 предприятий только на открытых работах. Аналогичные исследования следует провести, по нашему мнению, в ближайшее время и для подземных рудников и шахт.

## 6.3. Организационно-технические мероприятия по эффективному внедрению системы и техническая поддержка в период эксплуатации

Степень взаимодействия Исполнителя и Заказчика оказывает большое влияние на успех проекта и, как следствие, на успех достижения целевой задачи – в данном случае задачи внедрения АСУ ГТК. Поэтому организационно-технические мероприятия, проводимые во всех фазах разработки и исполнения проекта, зависят от обеих сторон.

С целью оптимальной координации усилий исполнителя и заказчика настоятельно рекомендуется на самой начальной стадии создать объединенную проектную (рабочую) группу из ответственных представителей от Исполнителя и Заказчика и отразить их права и обязанности, а также методы взаимодействия в документе «Устав проекта».

Рабочая группа в случае необходимости также полномочна решать вопросы технической поддержки во время промышленной эксплуатации системы.

В Уставе проекта отражаются организационно-технические аспекты.

Объединенная проектная группа создается из специалистов Исполнителя и Заказчика и наделяется правами решать в рабочем порядке возникающие в процессе работы текущие вопросы, обращаться к тому или иному руководящему лицу своего предприятия с целью решения этих вопросов или для организации того или иного мероприятия.

В самом начале предпроектных работ должны быть назначены руководитель проекта от Заказчика (администратор проекта) и ру-

ководитель проекта от Исполнителя. В проектную группу входят постоянно закрепленные специалисты Заказчика от каждой службы, причастной к разработке и выполнению проекта.

Администратор и другие члены проектной группы от Заказчика должны быть назначены официально приказом или распоряжением руководства предприятия Заказчика со списком необходимых специалистов, предоставляемым Исполнителем на начальном этапе проектирования.

Члены проектной группы должны иметь прямые контактные данные всех других участников группы. Необходимо обязать всех членов проектной группы предоставить другим членам группы номера своих местных, городских и мобильных телефонов, факсов, адреса электронной почты.

По заявке любого из руководителей проекта необходимо периодически обеспечивать проектную группу и привлекаемых специалистов автомобилем с водителем для их перемещения (возможно, с тем или иным оборудованием) по территории предприятия.

На периоды конкретных работ участники проектной группы должны быть обеспечены документами, удостоверяющими права их прохода (проезда) и проноса (провоза) имеющегося при себе оборудования, инструментария и материалов в офисы и на другие объекты предприятия, включая объекты карьера, железнодорожные объекты, пункты контроля качества руды и т. п. Пропускные документы выдаются на основе предварительно предоставляемых списков специалистов и снаряжения.

Для обеспечения рабочих условий для специалистов, командируемых Исполнителем для монтажа и наладки оборудования, необходимо подготовить отдельное, надежно запираемое помещение с условиями, определяемыми руководителем проекта от Исполнителя. Это помещение необходимо на весь период, начиная с обследования объекта автоматизации, до сдачи системы в промышленную эксплуатацию включительно.

Члены проектной группы от Заказчика необходимы не только для консультационных функций. Возможны ситуации, при которых проектной группе придется организовывать выделение постоянных помещений (серверной, диспетчерской и др.), изготовление дополнительных деталей и узлов (например, для крепления антенн), обеспечивать выделение или прокладку дополнительных коммуникационных линий и т. д.

Одним из первых решений проектной группы, как можно ожидать, будут требования к обеспечению условий работы, кратко затронутые выше, а также заблаговременное доведение до руководства Заказчика информации о необходимости выделения для обеспечения работоспособности внедряемой системы определен-

ных радиочастот и электронной векторной карты карьера с отмеченными на ней забоями, пунктами разгрузки, дорогами (включая железнодорожные) и другими технологическими точками.

Устав проекта представляет собой документ, содержащий общее описание организационных и методических аспектов проекта внедрения АСУ ГТК.

Назначение данного документа – определение целей проекта, общего подхода к технологии их решения с точки зрения организации работ и регламента взаимодействия Исполнителя и Заказчика.

Устав позволяет участникам сформировать для себя общее понимание ожидаемых результатов проекта.

В Уставе приводится описание формирования и функционирования проектной группы, в том числе при решении экстренных вопросов. Таким образом, Устав можно также рассматривать как инструмент, с помощью которого изменения, отклонения и дополнения, неизбежно возникающие на стадиях разработки и реализации проекта, могут быть вовремя обнаружены, оценены и, в случае необходимости, скорректированы. Устав проекта во-первых, удостоверяет его существование и, во-вторых, дает возможность руководителю проекта со стороны Исполнителя и администратора проекта со стороны Заказчика заранее спланировать и впоследствии задействовать соответствующие ресурсы своей организации на операциях проекта.

Перед тем, как приступить к реализации мер по внедрению системы, поставщику необходимо выполнить следующие действия:

- провести подробное инженерное обследование объекта автоматизации, предусматривающее предоставление Заказчиком группе обследования всех запрашиваемых материалов;
- разработать и утвердить календарный план работ по проекту;
- на основе материалов обследования разработать и согласовать с Заказчиком подробное техническое задание (ТЗ);
- на основе материалов обследования и ТЗ разработать, согласовать и утвердить технический проект (ТП), в котором должны быть подробно расписаны все работы, временные, ресурсные и финансовые аспекты проекта. Разработка ТП может быть начата до завершения разработки ТЗ, так как некоторые общие аспекты этих двух документов определяются на ранних стадиях разработки ТП.

После выполнения указанных мероприятий должен быть составлен укрупненный календарный план работ по внедрению системы.

Работы по внедрению системы, в соответствии с техпроектом и календарным планом, предусматривают выполнение следующих основных мероприятий:

- поставку оборудования и оснащение мобильных средств датчиками нагрузки, уровня топлива, приемниками и антеннами спут-

никовой системы позиционирования и другими необходимыми мобильными элементами системы; на каждом мобильном средстве устанавливается бортовой контроллер, обрабатывающий и записывающий данные, получаемые от датчиков, и направляющий обработанную информацию в диспетчерский центр (ДЦ), используя специальную бортовую радиостанцию;

- организацию и оснащение автоматизированного ДЦ системы;
- инсталляцию и адаптацию программно-технических средств (ПТС) системы, работающих с использованием корпоративной компьютерной сети и средств радиосвязи в режиме реального времени;
- назначение Заказчиком персонала и обучение его исполнителем пользованию системой в соответствии с установленными ролевыми функциями, завершающееся контролем полученной квалификации;
- проведение периода опытно-промышленной эксплуатации, в течение которого устраняются замечания (в рамках проекта) и производится наработка персоналом практических навыков пользования системой;
- сдачу системы в эксплуатацию с гарантийными обязательствами Исполнителя.

Предполагаемые сроки, последовательность и взаимосвязь работ (фаз и основных задач) по разработке и реализации проекта представляются в календарном плане.

# 7. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

## 7.1. Характеристика объекта управления и его задачи

Железнодорожный комплекс (ЖДК) промышленного предприятия объединяет железные дороги, мобильные объекты (локомотивы и вагоны) и стационарные объекты (станции), принадлежащие предприятию. К задачам управления ЖДК относятся:

- управление движением на железнодорожных станциях;
- контроль состояния подвижного состава и путей;
- отслеживание местоположения, скорости и других параметров мобильных объектов;
- формирование оптимальных маршрутов движения и другой навигационной информации с помощью современных средств определения текущего положения и направления движения мобильного объекта (рис. 7.1).

Существующие системы автоматизированного управления движением на железнодорожных станциях основаны на релейной логике, которая довольно ненадежна и неудобна в обслуживании. Электромеханические реле, имея относительно небольшой ресурс, периодически выходят из строя и требуют замены. Ввиду значитель-



**Рис. 7.1. Общий вид локомотивосостава с приемником GPS – системы глобального позиционирования.**

ной сложности управляющей логики система управления состоит из огромного числа реле, сгруппированных в стативы и релейные шкафы. Обнаружить среди них неисправность – задача настолько сложная, что приходится постоянно проводить плановые замены всего релейного оборудования, так как в противном случае количество отказов релейных устройств нарастает лавинообразно. Кроме того, из-за ненадежности изолированных стыков между железнодорожными элементами существуют проблемы со съемом сигналов с железнодорожных секций. Невозможен и сбор дополнительных данных, которые стали необходимыми для управления движением на современном уровне. Невозможно, например, обеспечить непрерывное получение диспетчерами станций информации о скорости движения и точном местонахождении состава, о состоянии различных участков путей, затруднена диагностика состояния путевой автоматики.

Развитие открытого способа разработки полезных ископаемых, как правило, сопровождается увеличением глубины карьеров и усложнением ряда других горно-технических условий, при которых значительно повышается роль карьерного транспорта. Это наиболее сложное и трудоемкое звено технологического процесса разработки месторождений полезных ископаемых, в значительной степени определяющее условия и показатели работы других структурных подразделений и предприятий в целом. При этом значительная доля из общего объема перевозок приходится на железнодорожный транспорт, являющийся наиболее эффективным и надежным в различных климатических условиях.

В настоящее время доля электрифицированного железнодорожного транспорта в общем объеме перевозок на отечественных карьерах составляет 25–30 %, а в асбестовой промышленности – 80–85 %. На угольных разрезах на формирование и эксплуатацию системы железнодорожного транспорта приходится свыше 15 % капитальных затрат и 30 % эксплуатационных расходов. Доля транспортных расходов на строительство и содержание железнодорожных путей в себестоимости добычи 1 т полезного ископаемого достигает 50–55 %.

Благодаря низкой себестоимости перевозок железнодорожный транспорт при больших объемах производства и значительных расстояниях перевозки обеспечивает лучшие технико-экономические показатели эксплуатации, чем другие виды транспорта.

Увеличение выпуска продукции на промышленных предприятиях сопровождается увеличением транспортных грузопотоков – как входящих, так и исходящих.

Как показывают результаты научных исследований, проектных проработок и многолетняя практика использования железнодорож-

ного транспорта, его тягово-энергетические и технологические возможности по применению на промышленных предприятиях далеко не исчерпаны.

В этой связи научно-технические проработки, направленные на решение ряда вопросов железнодорожного транспорта по расширению сферы его применения, имеют актуальное значение.

Одними из методов повышения эффективности работы железнодорожного транспорта являются:

- внедрение системы диспетчеризации мобильных объектов железнодорожного транспорта с целью повышения его производительности;
- внедрение микропроцессорной системы управления (МСУ) – железнодорожной автоматики нового поколения – с целью обеспечения безопасности движения и увеличения пропускной способности железнодорожных сетей предприятий.

Одной из основных задач диспетчеризации является диспетчеризация маневровых работ ЖДТ (рис. 7.2).

Основные задачи системы железнодорожной диспетчеризации:

- информационная поддержка принятия решений при оперативном управлении погрузочно-разгрузочными работами и грузовыми перевозками на ЖДТ;
- предоставление технологическому и управленческому персоналу оперативной информации о положении подвижного состава на территории предприятия;

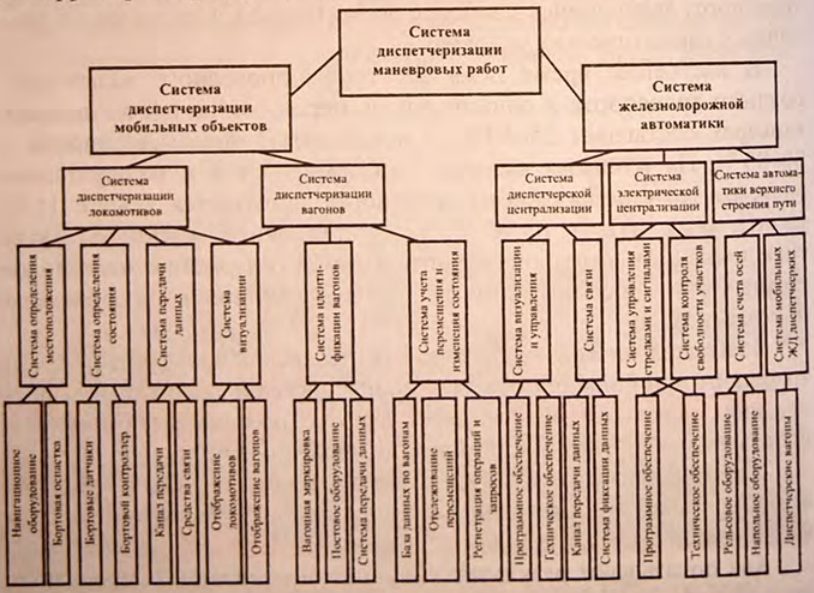



**Рис. 7.2. Состав системы диспетчеризации маневровых работ ЖДТ.**

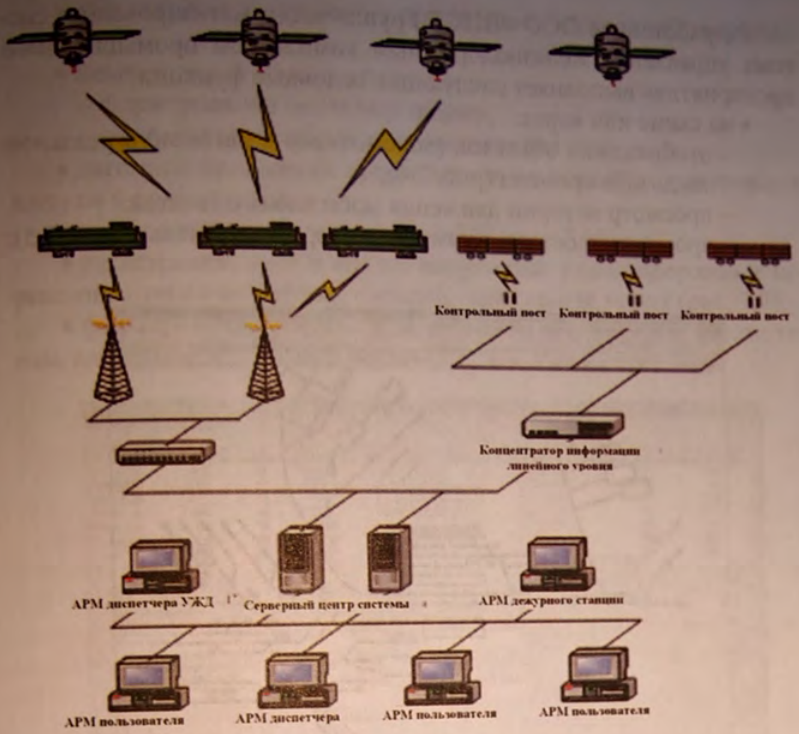



**Рис. 7.3. Структурная схема системы управления железнодорожным транспортом на горном предприятии.**

- ведение учета рейсов и расхода топлива;
- учет и анализ простоев вагонов;
- учет и анализ нарушений железнодорожных перевозок, а также штрафных санкций, налагаемых за эти нарушения.

В основу системы диспетчеризации положена спутниковая навигация (рис. 7.3) и идентификация единиц подвижного состава (п. 7.2.3).

## 7.2. Система диспетчеризации ЖДТ предприятия

Система диспетчеризации мобильных объектов технологического железнодорожного транспорта представляет собой систему поддержки принятия решений как для железнодорожных диспетчеров, управляющих движением составов, так и для других заинтересованных служб и руководства предприятия. Например, на РУ «Лучегорское» диспетчеры различных уровней обеспечивают контроль работы различных мобильных объектов.

Разработанная ООО «ВИСТ Групп» «Автоматизированная система управления железнодорожным комплексом промышленного предприятия» выполняет следующие основные функции:

- на схеме или карте:
  - отображение объектов (локомотивов и вагонов) в реальном масштабе времени (рис. 7.4);
  - просмотр истории движения мобильных объектов;
  - просмотр простоев, в том числе сверхнормативных (рис. 7.5);

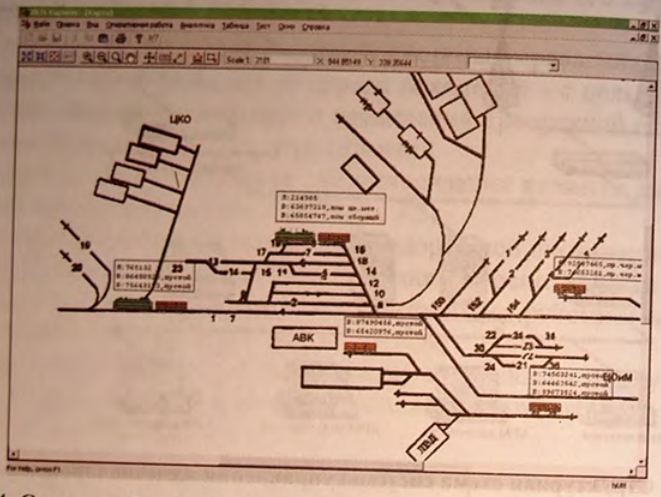



**Рис. 7.4. Схема отображения объектов в реальном масштабе времени.**

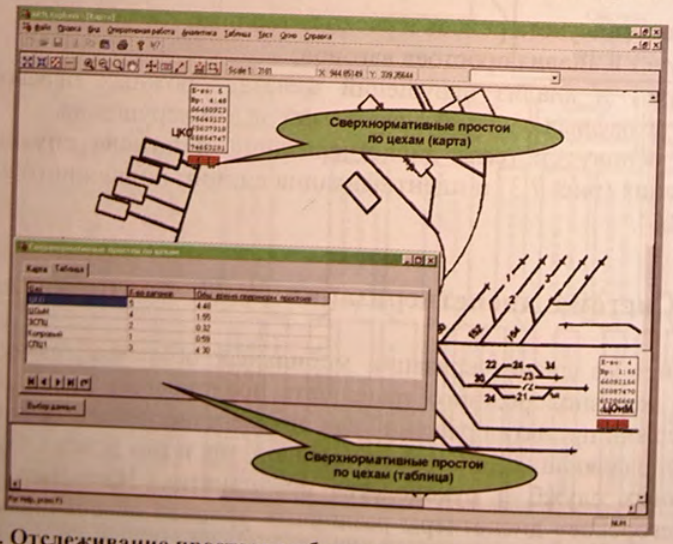



**Рис. 7.5. Отслеживание простоев мобильных объектов.**

• занесение или изменение нормативно-справочной информации;

• планирование перевозок грузов:

– формирование месячных планов;

– автоматизированный учет выполнения планов;

• автоматизированный прием заявок на подачу локомотивов и вагонов в подразделения;

• учет поступления вагонов от МПС (рис. 7.6);

• регистрация, учет и анализ нарушений железнодорожных перевозок, а также штрафных санкций, налагаемых за них (рис. 7.7);

• формирование рапортов за отчетные периоды по локомотивам, вагонам и персоналу;

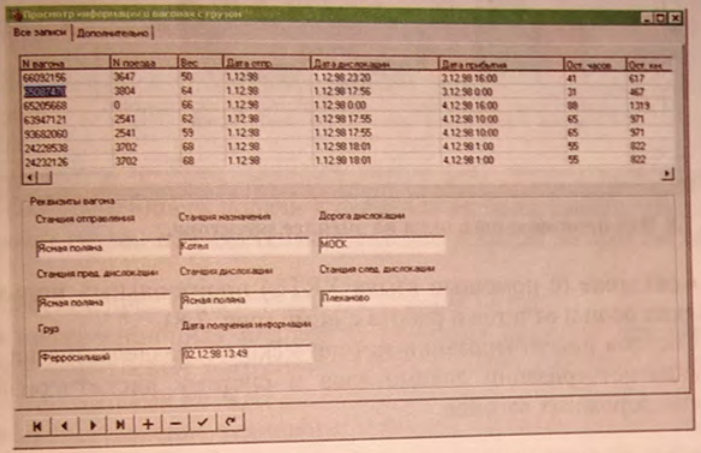



Рис. 7.6. Схема контроля поступления вагонов от МПС.

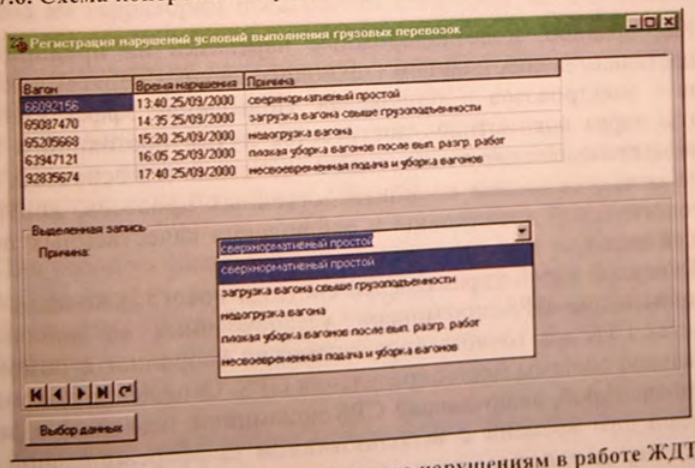



Рис. 7.7. Вид окна на дисплее монитора по нарушениям в работе ЖДТ.

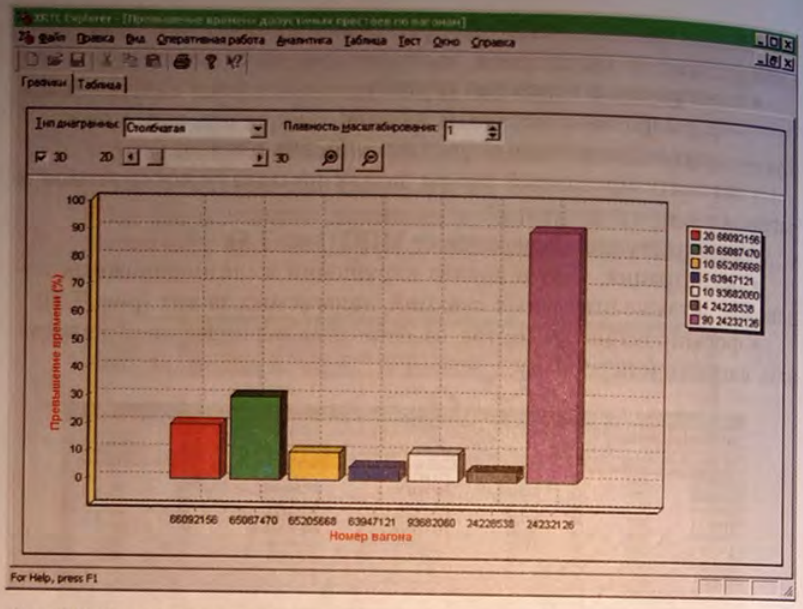



**Рис. 7.8. Вид произвольного окна на дисплее монитора.**

• создание (с помощью языка XRTL) произвольных пользовательских окон и отчетов и работа с ними (рис. 7.8).

Система диспетчеризации методически подразделяется на систему диспетчеризации локомотивов и систему диспетчеризации железнодорожных вагонов.

### 7.2.1. Система диспетчеризации локомотивов

Как правило, железнодорожные перевозки на предприятии осуществляются собственным (технологическим) парком локомотивов – электровозов и тепловозов. Повышение эффективности работы парка локомотивов достигается путем постоянного контроля местоположения локомотива и состояния его основных систем с целью снижения непроизводственных простоев, контроля технологической дисциплины и соблюдения качественных показателей сырья.

Основной идеей управляющей системы нового поколения стало применение GPS-приемников, установленных на мобильных объектах ГТК для точного определения их координат с помощью глобальной системы местоопределения GPS. Оснащение локомотивов аппаратурой, включающей GPS-приемники, позволяет в режиме реального времени с использованием дифференциальной поправки определять положение локомотивов с точностью до 2–5 м,

а также скорость и направление движения каждого из них. Поскольку система создавалась, прежде всего, как военная, она исключительно устойчива, надежна и невосприимчива к естественным и искусственным помехам.

Система определения состояния объекта позволяет диспетчеру удаленно контролировать работу агрегатов локомотива через бортовой контроллер со специализированными датчиками.

Координаты, скорость, а также другая цифровая информация, отображающая требуемые параметры состояния элементов оборудования (например, включение питания, расход топлива для тепловозов), автоматически передаются в диспетчерский центр системы через систему передачи данных.

### 7.2.2. Система диспетчеризации вагонов

Система диспетчеризации вагонов (думпкары, гондолы и пр.) позволяет контролировать перевозку грузов по территории предприятия, а также вести учет поступающих вагонов ОАО РЖД и своевременность их отправки. Это дает возможность контролировать своевременность подачи и отправки вагонов, своевременность отправки грузов потребителям и снизить штрафы за простой вагонов.

Система предназначена для следующих целей:

- информационная поддержка принятия решений при оперативном управлении погрузочно-разгрузочными работами и грузовыми перевозками на ЖДТ;
- предоставление технологическому и управленческому персоналу оперативной информации не только о положении подвижного состава на территории предприятия и на РЖД, но и о положении (принадлежности составу) каждого вагона;
- на основе этой информации – детальное формирование, учет и контроль планов перевозки грузов на ЖДТ;
- учет и анализ причин простоев вагонов;
- учет и анализ нарушений железнодорожных перевозок, а также определение штрафных санкций, налагаемых за эти нарушения.

Для решения задач диспетчеризации вагонов необходимо учитывать идентификационный код каждого вагона, т.е. должна быть задействована подсистема идентификации вагонов состава. Это обстоятельство требует особого обсуждения.

### 7.2.3. Подсистема идентификации вагонов

Подсистема идентификации единиц подвижного состава позволяет в автоматическом режиме распознавать специальные метки на вагонах (кодовые бортовые датчики – КБД, рис. 7.9) на пунктах контроля, оборудованных стационарной аппаратурой считывания.

Размещенные по территории предприятия контрольные посты (ПСЧ – пункты считывания, рис. 7.10, 7.11) позволяют идентифицировать каждый вагон, проследовавший мимо поста. Программное обеспечение ведет базу данных, фиксируя перемещения вагонов по предприятию, время подачи вагонов и отправку на станции РЖД. Совмещенная с программой отгрузки продукции система позволяет диверсифицированно отслеживать своевременность отправки грузов каждому потребителю и выдавать информацию для службы безопасности по перемещению и вывозу грузов с предприятия.

Единая система визуализации позволяет диспетчерам цехов своевременно осуществлять погрузку–разгрузку вагонов и подавать заявки на отправку вагонов. Железнодорожные диспетчеры могут формировать оптимальные маршруты локомотивов и своевременно подавать вагоны под погрузочно-разгрузочные работы и осуществлять отправку вагонов на станции РЖД.



**Рис. 7.9. Кодовый бортовой датчик (КБД), размещенный на вагоне.**




**Рис. 7.10. Контрольный пункт считывания (ПСЧ) данных с датчиков вагонов.**

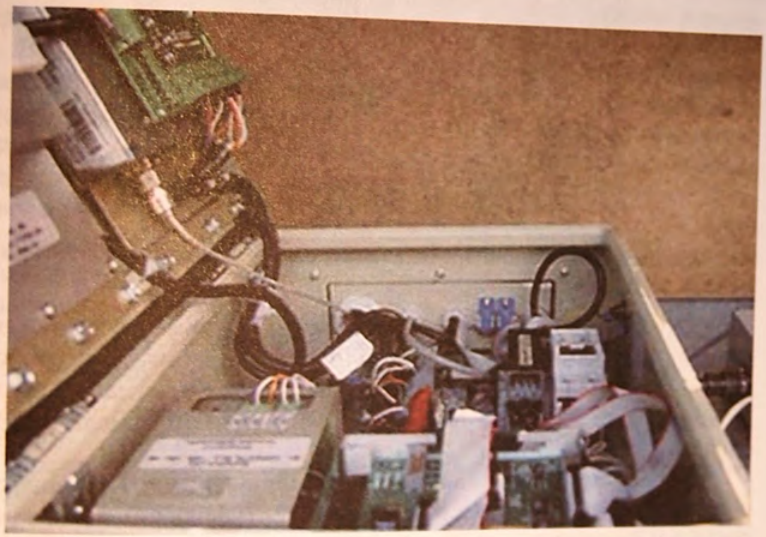


**Рис. 7.11. Комплект аппаратуры в шкафу ПСЧ.**

Сообщение о факте проследования идентифицируемого объекта через контрольный пункт содержит следующий перечень обязательных данных:

- код пункта считывания;
- направление следования;
- время проследования;
- перечень считанных номеров единиц подвижного состава.

Эта информация может содержать и иные данные, определяемые функциональным назначением системы.

Датчик не содержит компонентов для генерации СВЧ-сигнала. Он функционирует как отражатель, модулируя отраженный сигнал.



**Рис. 7.12. Датчик фиксации прохода колес, включающий/выключающий ПСЧ.**

Облучающая считывающая аппаратура включается только при наличии поезда в зоне действия пункта считывания. При проходе поезда мимо ПСЧ системы срабатывают датчики фиксации прохода колес (рис. 7.12), что приводит к излучению питающего СВЧ-сигнала.

Система считывания, в которой использована СВЧ-технология, обеспечивает высокую достоверность идентификации подвижного состава и контейнеров при скоростях движения поездов до 140 км/ч в нормальных и неблагоприятных условиях окружающей среды (обледенение, снег, грязь). Реальные скорости поездов в карьерах не превышают обычно 60 км/ч.

В настоящее время МПС России приняло решение об обязательном внедрении на всей сети Российских железных дорог системы «Пальма» в качестве основного средства автоматической идентификации железнодорожных транспортных средств. В ней также использован принцип радиочастотной модуляции сигнала.

Система автоматической идентификации (САИ) «Пальма» работает на основе СВЧ-технологии с применением частот 865, 867 и 869 МГц, что позволяет считывать информацию на больших расстояниях и при высоких скоростях движения. Датчик представляет

собой пассивный элемент, не содержащий источника питания; необходимая для его работы энергия поступает от считывателя в виде электромагнитного сигнала. Дальность работы напрямую зависит от мощности считывателя.

Преимуществом пассивных кодовых бортовых датчиков перед активными, имеющими источник питания, является практически неограниченный срок службы – не требуется замена элемента питания. Кодовый бортовой датчик КБД-2 относится к категории RW-датчиков (с возможностью многократной записи и считывания информации). Имеется возможность перезаписывать данные до пяти раз, однако для предотвращения несанкционированного перекодирования предусматриваются меры, не допускающие повторной записи. Это достигается благодаря особой конструкции датчика, позволяющей устанавливать его на борт транспортного средства только один раз. При попытке снять датчик для перекодирования его внутренние элементы разрушаются.

В ходе системы автоматической идентификации для Российских железных дорог, помимо СВЧ-технологии, рассматривались и другие технические решения: оптическое считывание – визуальное распознавание бортового номера, нанесенного на транспортное средство; использование поверхностных акустических волн; штриховое кодирование и др.

Однако радиочастотная идентификация (СВЧ-технология) имеет следующие преимущества по сравнению с этими техническими решениями:

- в радиочастотный датчик можно записать, причем значительно быстрее, гораздо больше данных;
- такие датчики долговечны (средний срок службы не менее 10 лет);
- расположение датчика не имеет особого значения для считывателя;
- датчик лучше защищен от воздействия окружающей среды.

Система обеспечивает устойчивую работу в режиме 24 часа в сутки 365 дней в году, при любых погодных условиях, с точностью 99.99 %, а вероятность необнаружения ошибки составляет 0.0001 %.

Аналогичные системы радиочастотной идентификации в обязательном порядке внедряются и за рубежом.

В 1991 г. Ассоциация американских железных дорог приняла решение об обязательной установке кодовых бортовых датчиков Amtech (компания Amtech Systems Division – подразделение корпорации Intermec Technologies, США) на всех без исключения железнодорожных вагонах и локомотивах. К концу 1997 г. кодовыми бортовыми датчиками Amtech было оборудовано 1.52 млн вагонов и 1100 локомотивов, на сети установили 3000 считывателей.

В Европе для идентификации транспортных средств используется система Dynicom – совместная разработка фирм Amtech и Alcatel. Она отличается от североамериканской системы рабочими характеристиками, местами расположения считывателя и датчика. Считыватель размещается в колее между рельсами, бортовой датчик крепится к кузову вагона снизу. Используются радиочастоты в диапазоне 2400–2500 МГц.

Экономический эффект от внедрения системы заключается в уменьшении числа ошибок в расчетах оплаты за перевозки, оперативной передаче информации клиентам, снижении затрат на отыскание вагонов, загрузке вагонов точно по графику, создании условий для точного регулирования парка подвижного состава, расширении услуг железных дорог, сквозной обработке данных и росте качества перевозок.

Оснащение собственного технологического парка вагонов предприятий горнодобывающей отрасли бортовыми датчиками позволяет четко отслеживать внутренние перевозки на предприятии. База данных, учитывающая передвижение вагонов, помогает диспетчерам точно формировать поток сырья с целью обеспечения заданного качества при высоком уровне точности. Снижение воздействия человеческого фактора позволяет более точно вести анализ работы железнодорожного транспорта предприятия.

## 7.3. Система железнодорожной автоматики

Бесперебойная и безопасная работа железнодорожного транспорта обеспечивается устройствами автоматики и телемеханики СЦБ (сигнализации, централизации, блокировки). От их надежной работы в значительной степени зависит производительность труда, безопасность движения поездов, пропускная способность железнодорожных путей. В области автоматизации электрическая централизация (ЭЦ) стрелок и сигналов на станциях и автоматическая блокировка на перегонах занимают одно из самых приоритетных направлений. Наряду с увеличением пропускной и перерабатывающей способности станций и обеспечением безопасности движения поездов, электрическая централизация стрелок и сигналов позволяет в значительной степени сократить штат работников, повысить производительность и культуру труда при сравнительно быстрой окупаемости капитальных вложений.

В настоящее время на большинстве железных дорог промышленных предприятий применяется релейная электрическая централизация стрелок и сигналов. Внедрение новых систем электрической централизации позволяет снизить стоимость строительства,

обеспечить более высокую надежность, повысить типизацию и удобство обслуживания, использование современных энергосберегающих технологий.

Решение поставленных задач возможно на базе компьютерных технологий с привлечением методов и средств искусственного интеллекта, принципов построения интеллектуальных систем, а именно – путем создания электрической централизации стрелок и сигналов на микропроцессорах. Внедрение такой электрической централизации позволит улучшить технико-экономические показатели железнодорожного транспорта. Таким образом, переход с аппаратного метода решения технологических задач транспортных систем на микропроцессорный и программный методы в устройствах автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта предприятий является актуальной задачей.

Модернизация железнодорожной автоматики осуществляется с целью повышения надежности и существенного снижения стоимости строительства устройств электрической централизации. Снижение стоимости достигается за счет:

- полного исключения рельсовых цепей как источника информации о свободности путей и стрелок с заменой их на датчики счета осей, что обеспечивает многократное удешевление устройств канализации обратного тягового тока;
- замены релейной аппаратуры схем электрической централизации на промышленные контроллеры в холодостойком напольном исполнении с размещением их непосредственно у рельсовой колеи, что обеспечит значительное (в 5–7 раз) снижение расхода кабельной продукции благодаря первичной обработке в указанных выше контроллерах информации, снимаемой с напольных устройств СЦБ;
- сокращения использования дорогих медесодержащих материалов и оборудования;
- существенного сокращения производственных площадей для размещения устройств СЦБ (5–10 м$^2$ на стрелку);
- замены оперативно-диспетчерского оборудования (пультов, табло, манипуляторов) на производительную ПЭВМ промышленного исполнения, что позволит сократить требуемые площади на 20–50 м$^2$, а в ряде случаев полностью отказаться от строительства постов ЭЦ и использовать для размещения оперативного персонала существующие помещения или передвижные специализированные железнодорожные вагоны.

Микропроцессорная электрическая централизация представляет собой многоуровневую систему с программируемыми аппаратными средствами. На нижнем (первом) уровне предусматриваются программируемые логические контроллеры, которые осуществля-

ют сбор и предварительную обработку информации и вывод управляющих сигналов на объект.

Дальнейшую обработку информации с контроллеров нижнего уровня целесообразно выполнять на групповых программируемых концентраторах второго уровня, которые осуществляют обмен между нижним и третьим уровнем системы.

На третьем уровне у дежурного по станции или диспетчера находится персональный компьютер в промышленном исполнении, в котором осуществляется последующая обработка информации, обрабатывается управляющая программа всей станции и осуществляются обмен информацией между концентраторами второго уровня и передача управляющих действий дежурного персонала станции к напольным объектам. Постовой компьютер должен обеспечить обмен информацией с верхним уровнем (диспетчерским) при дальнейшем развитии систем автоматизации и управления и передавать всю информацию о работе устройств СЦБ на АРМ электромеханика.

Для достижения поставленной цели необходимо установить микропроцессорные контроллеры с блоком управления стрелочным переводом (КСП) для съема, обработки и передачи информации о положении стрелки и работе стрелочного электродвигателя, управления процесса перевода стрелки и получения питания 160 В постоянного тока для работы двигателя. Этот контроллер устанавливается на каждом электроприводе одиночной стрелки и на одном из электроприводов спаренных стрелок и обеспечивает информационную связь с концентратором второго уровня.

Для управления огнями светофоров, передачи и приема информации с концентратора также устанавливаются микропроцессорные контроллеры с блоком управления светофоров (КСВ), которые обеспечивают управление огнями светофора, контроль перегорания нити ламп светофора, управление режимами работы светофоров (дневным, ночным и светомаскировки). Контроллеры КСВ размещаются в трансформаторных ящиках каждого светофора.

Сбор, обработка и передача информации с контроллеров напольных объектов управления и контроля (светофоров, стрелок, датчиков) осуществляются напольными концентраторами (НК), размещенными в непосредственной близости от локальных напольных контроллеров. Эти концентраторы обеспечивают передачу всей обработанной информации на ПЭВМ дежурного по станции (ДСП) и прием распорядительной информации от ДСП к объектам управления.

Размещение программируемых локальных контроллеров непосредственно в напольном оборудовании (стрелки, сигналы) обеспечивает индивидуальное управление и контроль этих объектов по

отдельному запасному каналу связи в случае нештатных ситуаций и отказов в работе при автоматическом режиме функционирования системы, что позволит значительно повысить ее надежность.

Работа микропроцессорной ЭЦ обеспечивается большим объемом математического и программного обеспечения задач функционирования системы:

- контроль и управлению объектами ЭЦ;
- слежение за перемещением подвижного состава;
- отображение текущего состояния путей и напольных устройств на мониторах ПЭВМ дежурного по станции;
- расчет вариантов всех возможных передвижений по станции, допускаемых путевым развитием, с блокировкой враждебных маршрутов;
- установка и замыкание маршрутов;
- отмена установленного маршрута;
- искусственная разделка маршрута при сбое в работе оборудования и т.д.

Надежность работы диспетчерского поста обеспечивается дублированием передачи данных на резервный компьютер, с абсолютной синхронизацией данных.

Программное обеспечение системы может быть как на основе имеющихся программных средств, так и разработано специально. Для разработки программного обеспечения «АРМ диспетчера» могут быть использованы современные программные средства разработки Suite 2000 фирмы Wonderware.

Размещение аппаратуры съема и обработки первичных сигналов у рельсов позволяет по одной маложильной магистральной линии связи передавать на пост управления контрольную, а к объектам управления – директивную информацию. Это дает возможность значительно сократить число прокладываемых магистральных кабелей и снизить объемы строительно-монтажных работ, а также трудоемкость при новом строительстве и реконструкции. Связь между концентратором второго уровня и локальными контроллерами нижнего уровня также обеспечивается по одной маложильной линии связи, при этом между контроллерами стрелок и сигналов – по общей линии связи.

Замена устройств контроля свободности и занятости путей и стрелок на железнодорожном транспорте предприятий посредством рельсовых цепей на метод счета осей с помощью датчиков (рис. 7.13) исключает из структуры технических средств электрической централизации изолирующие стыки, дорогие медесодержащие устройства и оборудование (дроссель-трансформаторы, дроссельные перемычки и др.). Кроме того, значительно сокращаются объемы потребляемой рельсовыми цепями электроэнергии.



16 Зак. № 4488

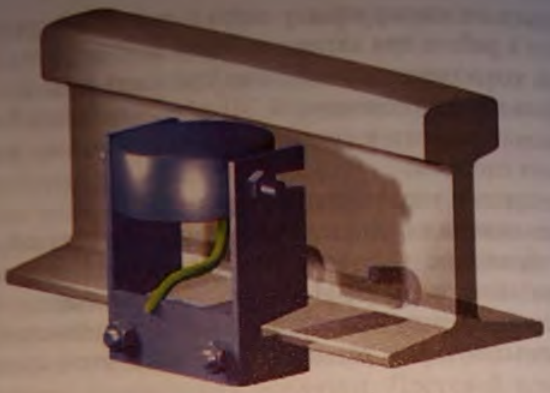


**Рис. 7.13. Датчик прохода колесной пары системы ЭССО.**

Применение электронной системы счета осей (ЭССО) позволяет использовать металлические шпалы для повышения прочности рельсовой колеи, что снизит количество сходов транспорта из-за состояния путей. Сокращение количества сходов снижает затраты на простой и ремонт транспорта и восстановление железнодорожного полотна и оборудования. При этом нет необходимости поддерживать изолирующие стыки, что позволяет применять счетчики осей и на часто перемещаемых участках путей (в забоях, на отвалах и т. п.).

Система микропроцессорной электрической централизации является системой модульного типа, что дает возможность легко переустраивать ее в зависимости от путевого развития станций и объема сигнального оборудования. При этом логические зависимости, осуществляемые программным путем, должны обеспечивать требования безопасности. Замена аппаратного метода решения задач на программный значительно сокращает и трудоемкость работ при новом строительстве, особенно при реконструкции железнодорожных путей.

При реконструкции путевого развития станций предполагается вместо разработки трудоемкого проекта реконструкции устройств СЦБ выполнить только подключение вновь добавляемых напольных объектов к напольной аппаратуре приема и передачи информации, а также корректировку программы обработки информации на посту ЭЦ. При этом пересмотр постового оборудования и его реконструкция практически не требуются.

Микропроцессорная электрическая централизация стрелок и сигналов в ходе эксплуатации дает возможность дальнейшего наращивания решаемых задач и функций, изменения состава или характеристик оборудования, датчиков и других средств измерения и автоматизации.

Внедрение на железнодорожном транспорте микропроцессорной электрической централизации стрелок и сигналов, по предварительным расчетам, позволит сократить объемы капитальных вложений на 25–30 % при новом строительстве и до 50 % при реконструкции по сравнению с действующими релейными электрическими централизациями. Это достигается значительным сокращением напольной и постовой кабельной продукции, практически полным исключением релейной аппаратуры, содержащей драгоценные металлы, уменьшением площадей зданий постов ЭЦ, занимаемых аппаратурой.

Замена рельсовых цепей на аппаратуру счета осей сокращает потребление электрической энергии на 20–30 %, что обеспечивает снижение эксплуатационных расходов. Кроме того, внедрение микропроцессорной электрической централизации особенно сократит сроки проектирования и строительства ЭЦ при реконструкции, связанной с изменением развития станции, что позволит получить дополнительный эффект за счет ускорения возобновления перевозочного процесса по путям станции. Так как капитальные вложения и эксплуатационные расходы значительно сокращаются по сравнению с эксплуатируемой релейной электрической централизацией, то срок окупаемости внедрения микропроцессорной электрической централизации будет минимальным. Введение в структуру задач диагностики работы устройств системы дополнительно позволяет повысить культуру труда эксплуатационных работников и прогнозирование возникновения отказов.

Сокращение размеров оборудования электрической централизации станций дает возможность использовать специально оборудованные железнодорожные вагоны, оптимально использовать мобильные диспетчерские посты для осуществления контроля и управления на временных станциях или в местах, где строительство стационарных объектов для размещения станционного оборудования невозможно по каким-либо причинам. Так, отключенный от разъемов диспетчерский вагон можно выводить на безопасное расстояние на время проведения взрывных работ и возвращать его в работу после расчистки подъездных путей.

Таким образом, внедрение интеллектуальной микропроцессорной электрической централизации и системы диспетчеризации позволяет:

- кардинально повысить качественный уровень систем автоматизации и управления железнодорожным комплексом предприятия;
- повысить надежность и технико-экономические показатели работы железнодорожного транспорта.

Данная система внедрена на ОАО «Михайловский ГОК», который представляет собой одно из крупнейших горнодобывающих предприятий России.

Комбинат производит 18.3 % товарной железной руды и 24 % окатышей России. По объемам производства железорудного сырья для черной металлургии МГОК занимает второе место в России.

В состав предприятия, кроме карьера, где добывается руда, входят дробильная и обогатительная фабрики, а также фабрика окомкования.

Транспортировка руды из карьера на обогатительную и дробильную фабрики осуществляется железнодорожным транспортом. Из-за большой разницы физических свойств разных сортов добываемой руды на комбинате применяются различные методы усреднения качества руды перед разгрузкой ее в приемный бункер дробилки. Это требует точного соблюдения графика поступления руды определенных сортов из карьера к фабрике. Значительная удаленность фабрик от места добычи (порядка 10 км и более) осложняет эту задачу, что снижает эффективность использовании железнодорожного транспорта и может привести к простоям оборудования фабрик, несвоевременно снабжаемых сырьем. Для примера, на рис. 7.14 приведена одна из схем расположения объектов ЖДТ с указанными на ней реальными расстояниями, на которые осуществляются перевозки.

Решением этой проблемы может быть только грамотная диспетчеризация железнодорожных перевозок, опирающаяся на полное владение оперативной обстановкой на железнодорожных путях. На сегодняшний день многие фирмы предлагают *микропроцессорные* системы СЦБ. Главным сдерживающим фактором для их внедре-




**Рис. 7.14. Схема расположения объектов железнодорожного транспорта ОАО «Михайловский ГОК».**

ния является высокая стоимость. Кроме того, некоторые фирмы предлагают микропроцессорную систему СЦБ «как таковую», не решая проблему интеграции ее в систему диспетчеризации. Некоторые из них предлагают решения, полностью дублирующие традиционные функции СЦБ, другие не реализуют даже визуализацию оперативной обстановки по станции.

Микропроцессорная система управления (МСУ СЦБ), созданная совместными усилиями специалистов ООО «ВИСТ Групп» (Москва) и ОАО «Михайловский ГОК», решает проблему в комплексе. МСУ не только обеспечивает управление движением по станции, как это делала традиционная система СЦБ, но и предоставляет ряд дополнительных возможностей, поднимающих управление движением по станции на качественно новый уровень. Кроме того, система изначально создавалась с расчетом на работу в системе диспетчеризации и уже сейчас готова быть источником данных для контроля и анализа оперативной обстановки в реальном времени.

Стоимость системы значительно ниже стоимости аналогов других поставщиков и производителей микропроцессорного оборудования. Во многом это достигнуто за счет использования напольного оборудования, используемого в традиционных решениях СЦБ. Надежность работы этого оборудования доказана временем, обслуживание нетрудоемко и не вызывает затруднений у персонала. Вся остальная управляющая и контролирующая логика теперь реализована внутри контроллеров. В нее входит контроль, управление и блокировка напольного оборудования; прокладка, контроль и исполнение поездных и маневровых маршрутов, а также целый ряд принципиально новых возможностей. В частности, более наглядное, чем в традиционном решении СЦБ, отображение оперативной поездной обстановки, предоставление дежурному по станции (и далее системе диспетчеризации) информации о ведущихся работах на станции, ограничениях или закрытиях движения по отдельным участкам пути, предупреждениях и т.д.

При внедрении МСУ, на «старых» постах ЭЦ высвободились значительные площади, занятые ранее под управляющую релейную логику СЦБ. А при строительстве новых станций применение МСУ вместо традиционных систем СЦБ сэкономило до 70% средств и значительное количество времени. Малая площадь, занимаемая МСУ, позволила создать передвижные посты ЭЦ. Передвижной пост ЭЦ гораздо дешевле при строительстве и эксплуатации по сравнению с капитальным зданием. При проведении взрывных работ передвижной пост ЭЦ выводится из опасной зоны, что снимает проблему сохранности оборудования.

Кроме точных координат, GPS-приемник обеспечивает определение скорости, ускорения и еще ряда полезных параметров объек-

та, на котором он установлен. Благодаря применению GPS-приемников отпадет необходимость определения положения состава на станции, используя сигналы существующей автоматизированной системы, а значит, станут ненужными изолирующие стыки между рельсами и многие из постоянно выходящих из строя реле. Однако полностью неудобные релейные шкафы из процесса управления не исключаются, поскольку задачу управления и контроля стрелок и светофоров GPS-приемники не решают.

После того, как определены координаты и скорость состава, их требуется передать для обработки, и для этого нужны беспроводные системы связи. Для организации среды коммуникаций между мобильными и стационарными объектами ГТК было решено использовать распределенную вычислительную сеть, построенную на основе радиошлюзов. Выбранный подход переводит управление движением на качественно новый уровень. Технология радиосети позволяет установить компьютеры на мобильных объектах: электровозах и тепловозах, так что машинист локомотива получает оперативную информацию о маршруте, физическом состоянии пути, а также любую другую навигационную информацию, например, сигнал светофора прежде, чем он увидит сам светофор. Кроме того, предполагается, что на экран бортового компьютера будет выводиться карта маршрута с отображением состояния путей и выдачей рекомендаций по скорости движения. И, наконец, открываются широкие возможности по диагностике и индикации основных показателей состояния локомотива.

В настоящее время выполнен первый этап создания информационной управляющей системы ГТК, а именно:

- в реальных условиях эксплуатации на станции «Карьерная» проведены испытания GPS-приемников и оборудования для сети радио-Ethermet;
- взамен устаревших и громоздких табло стали применяться мнемосхемы станции и пульта управления – создан АРМ диспетчера станции с помощью современного программного средства разработки Factory Suite 2000 фирмы Wonderware.

Из состава инструментов Factory Suite 2000 используется два продукта: InTouch и InControl. Первый выступает в качестве средства визуализации, второй позволяет исполнять с помощью программы алгоритм управления контроллерами, реализованный средствами релейной логики.

Средство разработки InTouch – очень удобный развитый инструмент, с помощью которого можно создавать новую, более детализированную мнемосхему станции. Она настолько подробна, что при большом количестве управляемых объектов становится большой по размеру и размещается на двух и более крупных мониторах (например, 30" по диагонали) с хорошим разрешением.



**Рис. 7.15. Электронный пульт диспетчера ЖДТ.**

В компании «ВИСТ Групп» разработан универсальный пульт диспетчера МСУ (ПДУМСУ), имеющий несколько конструктивных исполнений в зависимости от насыщенности станций оборудованием. В частности, на рис. 7.15 показан пульт для центральной диспетчерской ЖДТ всего предприятия.

По сравнению с существующей новая мнемосхема имеет целый ряд преимуществ:

- безотказна в работе: все ее элементы отображены на экране монитора – поэтому исключаются проблемы с перегоревшими лампочками, короткими замыканиями в проводах и реле, выходом из строя переключателей;
- удобна в управлении: раньше откорректировать стационарную электротехническую мнемосхему, когда на какой-либо станции происходили изменения, было сложно, тогда как с помощью InTouch редактировать модель экранного изображения очень просто, а кроме того, всегда существует возможность пополнить АРМ новыми функциями.

На рис. 7.16 приведена электронная (отображаемая на мониторах) мнемосхема станции, на которой не только присутствует вся оперативная информация о движении поездов, состоянии стрелок и светофоров, но и полностью представлены органы пультового управления, которыми пользуется диспетчер при помощи манипуляторов «мышь» или «трекбол». Принимая команды диспетчера, программное обеспечение МСУ обеспечивает все функции СЦБ, предварительно проверяя правомочность команд и в случае необходимости блокирует неправильные или опасные команды, сигнализируя об этом.

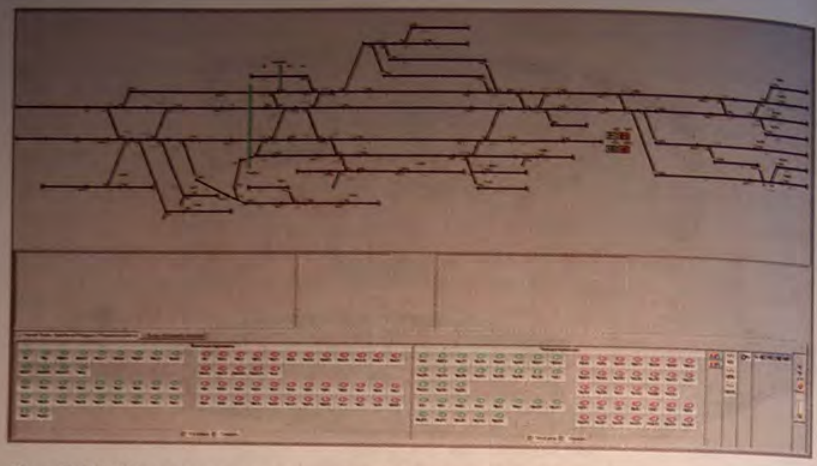


**Рис. 7.16. Мнемосхема станции, отображаемая на мониторе диспетчера (в нижней части видно изображение экранного пульта диспетчера).**

На первом этапе создания информационной управляющей системы ГТК на Михайловском ГОК не ставилась задача заменить релейную логику на программную (хотя на последующих этапах такая задача технически легко разрешима), АРМ только принимает и выдает сигналы для существующей автоматизированной системы, поддерживая функции рабочего места диспетчера станции. Для сбора вводных и посылки управляющих сигналов используются модули Systron R.I.O., объединенные в промышленную сеть PROFIBUS. Был выбран тип промышленной сети PROFIBUS-DP как наиболее подходящий по функциональности. С промышленной сетью и входными/выходными сигналами автоматизированной системы работает модель InControl – программный контроллер, который выдает на вход InTouch данные уже более высокого уровня.

В рамках выполнения первого этапа проекта разработано много полезных дополнений к основному программному продукту «АРМ диспетчера». В частности, с помощью утилиты Histdata от Wonderware была создана система архивации данных, которая позволяет регистрировать абсолютно все события на станции, доступные АРМу, к которым относятся: перевод стрелки; выход из строя стрелки, секции, светофора; смена состояния железнодорожной секции и т.д. Причем, данные хранятся в максимально компактном виде. Для системы архивации были разработаны также две новых утилиты: «Просмотр архива» и «Анализ архива».

С помощью утилиты «Просмотр архива» (PlayBack) можно повторить на экране АРМа диспетчера весь ход развития событий, причем просмотреть их как в реальном времени, так и в замедленном

или ускоренном режимах, останавливаться в режиме «пауза» и прокручивать запись в обратном порядке. Принцип работы утилиты «Просмотр архива» напоминает использование видеомагнитофона.

Утилита «Анализ архива» позволяет быстро выявить поломки, неправильные срабатывания объектов станции, наиболее загруженные и ненадежные участки станции. Хотя для анализа используются простые алгоритмы, вручную обработать огромные массивы информации невозможно (за сутки происходит большое количество событий типа «переключения состояний стрелки»). Утилита «Анализ архива» позволяет за несколько минут обработать всю информацию по интересующим темам и представить результаты в виде понятных и наглядных графиков и таблиц.

Кроме того, было создано и прошло первые тестовые испытания программное обеспечение, работающее с данными от GPS-приемников. На мониторах АРМа уже отслеживалось движение тепловоза, экранные координаты которого вычислялись на основе координат, полученных от GPS-приемника, установленного на крыше дрезины.

Специалистами «ВИСТ Групп» и ОАО «Михайловский ГОК» созданы средства автоматизации, позволяющие в максимально короткие сроки изменять программное обеспечение МСУ станции при внесении изменений в ее путевое развитие. Это особенно актуально на станциях, находящихся внутри карьера, путевое развитие которых постоянно меняется. Эти же средства автоматизации позволяют значительно сократить создание программных проектов для вновь создаваемых МСУ станций. Применение данных средств автоматизации в 2003 и 2004 г. позволило модернизировать на предприятии ОАО «Михайловский ГОК» средства СЦБ восьми станций (по 4 станции в год).

В результате проведенной работы на всех 10 станциях рудного хода ОАО «Михайловский ГОК» работает МСУ СЦБ: 8 станций были модернизированы и 2 новые станции были построены сразу с применением МСУ.

Специалисты «ВИСТ Групп» и ОАО «Михайловский ГОК» продолжают вести работы по созданию системы диспетчеризации. В 2006 г. осуществлен пуск Центральной диспетчерской рудного хода, данные для которой поставляются системами МСУ станций.

На предприятии ОАО «Стойленский ГОК» совместно с «ВИСТ Групп» принята перспективная программа реконструкции всех действующих и ввода в строй новых станций технологического железнодорожного транспорта с применением описанных выше технологий. Эта программа начала реализовываться во второй половине 2006 г. По принятой концепции, на новых станциях (постах) сразу внедряется не только МСУ, но и напольное оборудование

создается изначально с использованием ЭССО, сразу ориентированное на электронную систему МСУ СЦБ. На реконструируемых станциях этот процесс проводится в 2 этапа, на первом из которых создается МСУ, включая электронный пульт диспетчера, к которому в считанные минуты подключается существующее напольное оборудование, на втором этапе подвергается модернизации напольное оборудование. Станции реконструируются и строятся последовательно, в первую очередь, принадлежащие цепочке рудного хода, со временем образовывая сеть единой МСУ предприятия с центральным диспетчерским пунктом. С точки зрения защиты инвестиций такой способ внедрения наиболее рационален, так как в модернизацию последующих объектов вкладываются средства из прибыли, полученной в результате модернизации предыдущих объектов.

По соотношению «цена/функциональность» систему МСУ железнодорожных станций, разработанную «ВИСТ Групп» совместно с ОАО «Михайловский ГОК», и методику ее внедрения, предложенную и осуществляемую «ВИСТ Групп» совместно с ОАО «Стойленский ГОК», можно назвать одной из наиболее эффективных и выгодных для предприятий-заказчиков.

# 8. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

## 8.1. Переход от эффективной к адаптивной системе профилактики оборудования

Система мониторинга текущего состояния машин горно-транспортного комплекса, реализуемая в рамках системы диспетчеризации, позволяет решить одну из важнейших задач эксплуатации горного оборудования – обеспечение его работоспособности путем проведения комплекса профилактических мероприятий на основе определения вероятности отказа узлов и деталей с помощью оценки их текущего технического состояния различными диагностическими средствами.

Такая модель профилактики машин позволяет отказаться от строго регламентированной (директивной) системы, которая практически повсеместно применяется в настоящее время. Достоинства этой системы – простота управления, необязательное наличие дорогостоящих диагностических средств. Суть ее заключается в том, что определенный вид (комплекс) профилактических воздействий на машину выполняется в строго определенное время или через определенную наработку. При этом не учитываются условия работы машины, режимы ее нагружения и пр. Результатом применения такой системы могут быть излишние затраты на материалы, запчасти, так как по израсходованному ресурсу (техническому состоянию) они могли бы использоваться и дальше. При этом неизбежно выше трудозатраты на ТО и Р и ниже коэффициент технического использования машины.

Типичным примером директивной системы ТО и Р является использование ее при эксплуатации ПДМ и «TORO 400D» фирмы «Sandveik Tamrok» (рис. 8.1, табл. 8.1).

Целый ряд предприятий планирует в ближайшее время перейти на выполнение технического обслуживания и ремонтов горного оборудования по фактическому состоянию. При этом необходимо организовать работу ремонтного подразделения так, чтобы только *техническая диагностика* определяла структуру обслуживания машин. Естественно, это требует определенных затрат: техническое оснащение, квалифицированные кадры и оплата их услуг.

При выполнении всех видов обслуживания техники необходимо контролировать расход ресурсов, в том числе финансовых. Одним из важных вопросов является выбор формы оплаты труда ремонтного персонала – за что платить. За объем выполненных работ, качество ремонта, безотказную работу техники или гарантированный машино-час? Это главная трудность. У горно-добывающего предприятия есть выбор – осуществлять все виды ремонта своими силами, пригласить сторонние специализированные организации или воспользоваться услугами завода-изготовителя данного вида техники. Что более выгодно? Если ремонт производится своими силами, то это большие затраты, низкое качество и отсутствие гарантий безотказной работы. Между тем, руководители служб должны отвечать за правильную эксплуатацию и качество ремонта оборудования. Если передать функцию ремонта специализированной организации, то эта форма сервиса является, пожалуй, наиболее целесообразной при реализации адаптивной системы.

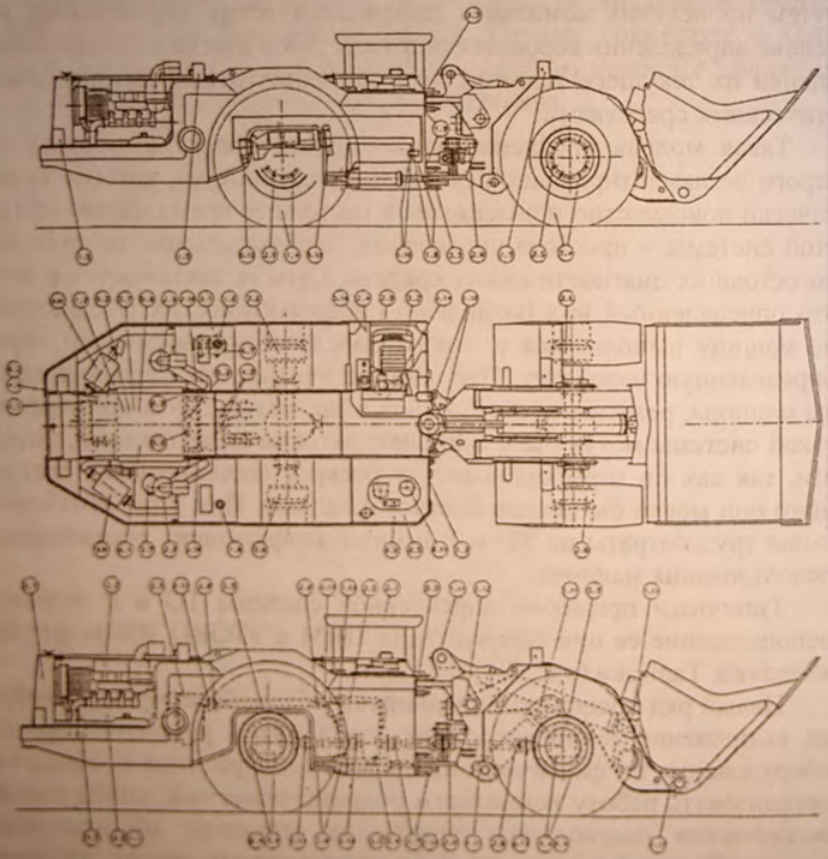


**Рис. 8.1. Позиции выполняемых работ при ПДМ.**

*Таблица 8.1*

**Виды выполняемых работ при выполнении ТО погрузочно-доставочных машин (ПДМ)**

| № операции | Вид работ | Периодичность (ежесменно) |
|---|---|---|
| 1.1 | Проверить состояние клиновых ремней | x |
| 1.2 | Проверить уровень масла в двигателе | x |
| 1.3 | Проверить уровень гидр.масла | x |
| 1.4 | Проверить состояние шин и гаек крепления колес | x |
| 1.5 | Проверить фары | x |
| 1.6 | Заправить водяной (расходный) и топливный баки | x |
| 1.7 | Смазать шарниры карданного вала, расположенного у шарнира сочленения полурам | x |
| 1.8 | Смазать подшипники балансирной подвески | x |
| 1.9 | Смазать шарниры сочленения полурам | x |
| 1.10 | Смазать сферические подшипники цилиндров поворота | x |
| 1.11 | Смазать шарниры цилиндров поворота ковша | x |
| | Смазать шарниры цилиндров подъема стрелы | x |
| 1.12 | Смазать шарнирные пальцы стрелы | x |
| 1.13 | Проверить уровень масла в коробке передач | x |
| 1.14 | Проверить исправность контрольно-измерительных приборов и контрольных ламп | x |
| 1.15 | Проверить внешним осмотром состояние шлангов, кабелей и основных узлов | x |
| 2.1 | Мойка и общая очистка машины, защитить электрооборудование от водяной струи | Через каждые 60 моточасов |
| 2.2 | Очистить ребра охлаждения двигателя и радиаторов | x |
| 2.3 | Проверить воздушный фильтр | x |
| 2.4 | Проверить уровень электролита в аккумуляторных батареях | x |
| 2.5 | Проконтролировать давление в шинах | x |
| 2.6 | Проверить действие тормозов и их эффективность торможения | x |
| 2.7 | Промыть жидкостной нейтрализатор | x |
| 2.8 | Смазать шарниры карданных валов | x |
| 2.9 | Смазать рычажный механизм подачи топлива и остановка двигателя и также педалей рабочего тормоза и подачи топлива | x |
| 2.10 | Проверить резиновые подушки и крепление двигателя | x |
| 3.1 | Слить конденсат из топливного бака и топливных фильтров | 125 ч |
| 3.2 | Смазать рычажный механизм сиденья | x |
| 3.3 | Проверить состояние шарниров сочленения полурам | x |

*Таблица 8.1 (Продолжение)*

| № операции | Вид работ | Периодичность (ежесменно) |
|---|---|---|
| 3.4 | Проверить уровень масла в планетарных редукторах | x |
| | Проверить уровень масла дифференциалах | x |
| 4.1 | Сменить масло в двигателе | 125 или 250 ч |
| 4.2 | Заменить масляный фильтр | 250 или 500 ч |
| 4.3 | Заменить фильтрующие элементы гидросистемы трансмиссии ходовой базы | 250 ч |
| 4.4 | Проверить натяжение клиновых ремней генератора | x |
| 5.1 | Промыть фильтр центробежной очистки масла двигателя | 500 ч |
| 5.2 | Заменить элементы топливных фильтров | x |
| 5.3 | Проверить и отрегулировать зазоры в клапанном механизме | x |
| 5.4 | Сменить масло в коробке передач | x |
| 5.5 | Промыть все салны (мостов, коробки передач, гидротрансформатора) | x |
| 5.6 | Промыть фильтр грубой очистки топлива | x |
| 5.7 | Проверить исправность датчика указателя температуры | x |
| 5.8 | Проверить работу устройства накаливания | x |
| 5.9 | Проверить зазор шарнира сочленения полурам индикатором часового типа | x |
| | Затянуть все рамные фильтры | x |
| 5.10 | Проверить плотность электролита и очистить контакты аккумуляторных батарей | x |
| 5.11 | Заменить обратный фильтр гидравлической системы | x |
| 5.12 | Произвести затяжку болтов шарнирных пальцев балансирной подвески | x |
| 5.13 | Проверить крепление фланцев карданных валов | x |
| 5.14 | Регенерация катализатора | x |
| 6.1 | Заменить форсунки | 1000 ч |
| 6.2 | Произвести техобслуживание генератора | x |
| 6.3 | Произвести техобслуживание стартера | x |
| 6.4 | Сменить масло в мостах и планетарных редукторах | x |
| 6.5 | Сменить масло в гидросистеме погрузочного органа и управления поворотом машины | x |
| 6.6 | Промыть вакуум-фильтры гидравлической системы | x |
| 6.7 | Проверить гидроаккумуляторы тормозной системы | x |
| 6.8 | Проверить крепление впускного трубопровода и выпускного коллектора | x |
| | Проверить работу топливного насоса высокого давления | 2000 ч |
| | Заменить катализатор | 2000 ч |

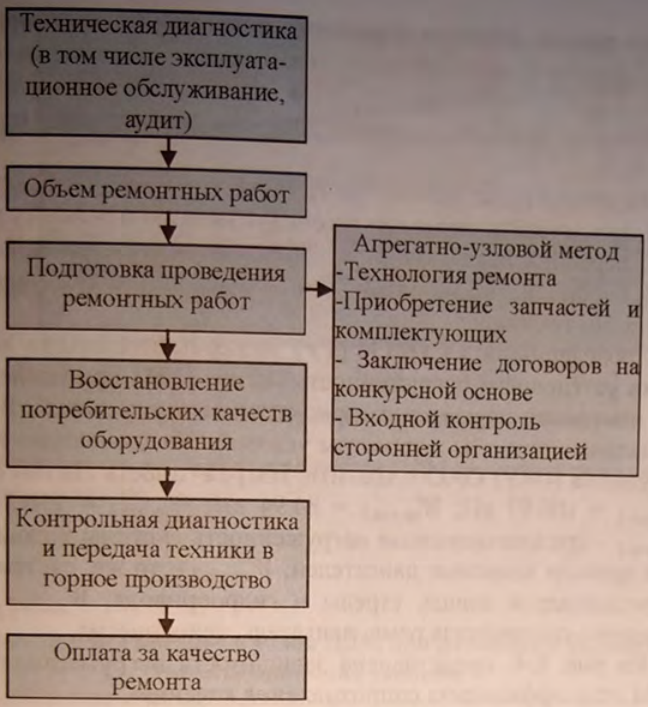



**Рис. 8.2. Структура подготовки и проведения ремонта.**

На рис. 8.2 приведена структура профилактических и восстановительных работ горной техники по е фактическому состоянию специализированной сервисной организации [2].

Практика показывает, что обслуживание по техническому состоянию с использованием методов диагностики по сравнению с другими стратегиями позволяет с большей точностью прогнозировать сроки отказов и в 2–3 раза сокращать затраты на поддержание оборудования в работоспособном состоянии.

Адаптивная система технического облуживания и ремонта горно-транспортного оборудования строится на оценке интенсивности расходования ресурса элементами машины в зависимости от их эксплуатационной нагруженнности. Прогнозирование ресурса элементов машины, в частности ПДМ, нужно строить не столько на вероятностных методах обработки статистических данных, сколько на связи ресурса элементов с теми нагрузками, которые они воспринимают в процессе своей работы. Поэтому необходимо иметь эту информацию от датчиков, располагаемых в различных узлах машины. Эксплуатационная нагруженность элементов и узлов машины определяется в результате мониторинга различных технологических операций. Она зависит от дальности транспортирования,

уклона дороги, качества дорожного покрытия (коэффициента качения), крепости, кусковатости, плотности и абразивности горной массы и пр.

Массив данных формируется из нескольких источников (рис. 8.3).

Их можно разделить на три группы:

1. технический персонал по обслуживанию и ремонту машин;
2. персонал, отвечающий за эффективную эксплуатацию машин;
3. специалисты, оценивающие горнотехнические условия эксплуатации техники.

Проведенными в СПГГИ (ТУ) экспериментальными исследованиями установлена нагруженность систем ПДМ при последовательном изменении параметров горно-технических условий. В качестве нормальных приняты параметры условий Объединенного Кировского рудника (ОКР) ОАО «Апатит». Нагруженность систем составила $W_{ср.взв.1}$ = 106.97 кН; $W_{ср.взв.2}$ = 84.94 кН; $W_{ср.взв.3}$ = 156.51 кН, где $W_{ср.взв.1}$ – средневзвешенная нагруженность системы ходовой тележки и привода колесных двигателей; $W_{ср.взв.2}$ – то же, системы ковша, гидроцилиндров ковша, стрелы и гидропривода; $W_{ср.взв.3}$ – то же, шарнирно-сочлененная рама, двигатель, трансмиссия.

На рис. 8.4. представлена зависимость нагруженности систем ПДМ от коэффициента сопротивления качению.

Значения ресурса элементов ПДМ TORO-400E в зависимости от условий эксплуатации приведены в табл. 8.2. Средние значения наработки элементов на отказ получены на Кировском руднике.




**Рис. 8.3. Схема формирования массива данных по надежности и условиям эксплуатации погрузочно-доставочных машин.**

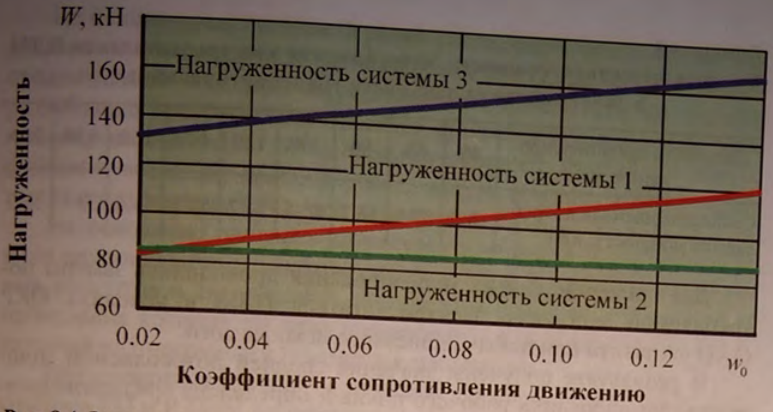



**Рис. 8.4. Зависимость нагруженности систем ПДМ от коэффициента сопротивления качению.**

*Таблица 8.2*

**Изменение ресурса деталей и узлов ПДМ при различных параметрах горнотехнических условий**

| Наименование узла | Диапазон изменения ресурса, мото·час | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $I = 0–200\ ‰$ | $ω_0 = 0.02–0.14$ | $L = 20–200$м | $γ = 2.0–3.0$ т/м$^3$ | $K_{разр.} = 1.4–1.8$ | $φ = 25–50^0$ | $Tg = 1.4–2.0$ |
| Электродвигатель | 15000–12930 | 17650–14000 | 15500–14000 | 17850–14560 | 15620–14700 | 15790–11000 | 16000–14850 |
| Гидроцилиндр опрокида ковша | 4000 | 4000 | 4650–2760 | 5800–3850 | 4350–3880 | 4440–2350 | 4500–3920 |
| Гидроцилиндр подъема ковша | 5000 | 5000 | 5800–3450 | 7250–4800 | 5430–4850 | 5550–2940 | 5620–4900 |
| Гидроцилиндр рулевой | 1500–1290 | 1760–1400 | 1550–1400 | 1790–1460 | 1560–1470 | 1580–1090 | 1600–1490 |
| Редуктор «Кларк» 19D | 2000–1720 | 2350–1870 | 2060–1870 | 2380–1940 | 2080–1960 | 2100–1450 | 2130–1980 |
| Ковш | 1500 | 1500 | 1750–1030 | 2170–1440 | 1630–1460 | 1670–880 | 1690–1470 |
| Шины: | | | | | | | |
| передний мост | 1250–1000 | 1600–1130 | 1360–1000 | 1450–1230 | 1330–1230 | 1330–930 | 1370–1240 |
| задний мост | 1500–1200 | 1920–1350 | 1630–1200 | 1740–1470 | 1600–1470 | 1600–11110 | 1650–1490 |

*Таблица 8.3*

**Средневзвешенная мощность, потребляемая электродвигателем ПДМ в зависимости от дальности транспортирования**

| Дальность транспортирования, м | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Средневзвешенная потребляемая мощность, кВТ | 58.9 | 57.5 | 56.3 | 55.5 | 54.7 | 54.1 | 53.6 | 53.1 | 52.7 |

Для проверки данных моделирования проводились замеры потребляемой мощности электродвигателя ПДМ в условиях ОКР ОАО «Апатит» при добыче полезного ископаемого.

В результате получены значения средней потребляемой мощности при операциях рабочего цикла и определена средневзвешенная мощность при различной длине транспортирования (табл. 8.3).

Сравнение относительной мощности, отнесенной к мощности при нормальной дальности транспортирования –100 м, с данными относительной нагруженности системы элементов № 3 ПДМ, полученными в результате моделирования, при изменении дальности транспортирования в эти же пределах показывает, что расхождение составляет 1–2 %. Таким образом, проверка данных моделирования показывает хорошую их сходимость с экспериментальными данными.

В результате применения изложенных принципов прогнозирования ресурса элементов ПДМ структура адаптивной системы ТО и Р машин приобретет следующий вид (рис. 8.5).

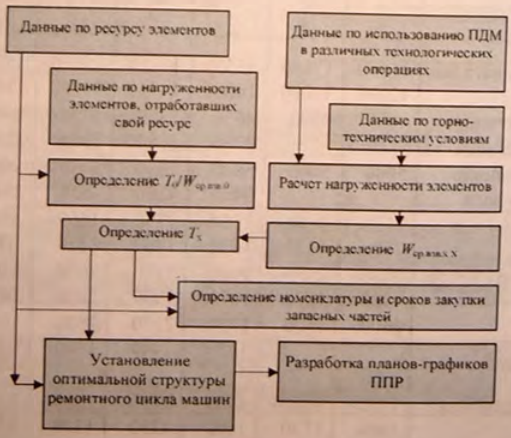



**Рис. 8.5. Структура адаптивной системы ТО и Р погрузочно-доставочных машин.**

На основе представленной ранее схемы формирования массива данных по надежности и условиям эксплуатации ПДМ, а также предложенной методики определения нагруженности их систем, разработана программа на объектно-ориентированном языке программирования Delphi 6. Программа обладает доступным интерфейсом и позволяет прогнозировать ресурс элементов ПДМ с учетом рассматриваемых условий эксплуатации [9].

На основании прогноза по ресурсу элементов ПДМ определяются рациональные параметры системы ТО и Р. проведение плановых ремонтов и технической диагностики совмещается с ТО, для проведения которых машина перегоняется в подземные или находящиеся на поверхности ремонтные мастерские.

Предложенные принципы определения параметров адаптивной системы ТО и Р ПДМ отличаются от известных более полным учетом условий эксплуатации, использованием, наряду со статистическими данными по надежности, данных по нагруженности элементов в конкретных условиях эксплуатации. Применение данной методики позволяет корректировать параметры системы ТО и Р при наличии небольшого числа статистических данных по ресурсу элементов машин. Адаптивная система ТО и Р является, таким образом, одним из важнейших «продуктов» мониторинга, который, в свою очередь, невозможен без внедрения систем диспетчеризации и автоматизации ГТК.

## 8.2. Оптимизация потоков запасных частей к оборудованию

Нормальное обеспечение запчастями является непременным условием эффективной эксплуатации горно-транспортных комплексов. Известно расхожее мнение эксплуатационников – «запчастей всегда не хватает». Между тем, в практике обеспечения запчастями горных предприятий до сих пор нет разработанной надежной методики. Любая машина как технический объект не может работать безотказно. Для восстановления ее работоспособности необходимо выполнить ремонт. Наиболее эффективен агрегатно-узловой метод ремонта, для которого необходим достаточный оборотный фонд агрегатов и узлов. Нормирование и регулирование необходимого числа оборотных агрегатов и запасных частей представляют собой сложную задачу, поскольку как автосамосвалы, так и погрузочно-доставочная машины состоят из большого числа различных по прочности и конструкции деталей и узлов. Запас деталей, узлов и агрегатов зависит от эксплуатационных условий работы машин, уровня развития ремонтной базы предприятия и возрас-

та машин в парках (средний израсходованный ресурс). Движение оборотного фонда учитывается и контролируется специалистами предприятия. При уменьшении фонда он подлежит немедленному восполнению.

При нормировании объема запасных частей используют материалы по фактическим запасам за предыдущие годы, которые впоследствии корректируют с учетом излишних запасов, хранящихся на складе. Этот метод неточен, и его можно применять только для ориентировочных расчетов. При этом необходимо знать не только необходимый объем запчастей, но и в течение какого срока он должен храниться на складе, чтобы не превратиться в неликвиды. При поступлении запасных частей на предприятие необходима организация входного контроля. Приобретая ту или иную запасную часть, у которой гарантия 6 или 9 мес., ремонтная служба использует ее, допустим, через 11 мес. В этом случае претензии к поставщику за низкое качество детали уже не предъявишь, так как в момент поступления этой запасной части на склад, она не проходила контроль. Возможно, контроль будет осуществлять независимая организация, которая будет работать по отдельному контракту. Собственнику горно-добывающего предприятия должны быть представлены экономические расчеты всех бизнес-процессов, происходящих на предприятии. Он вместе с администрацией предприятия определяет, что ему выгодно, а что нет.

Наиболее правильным и точным методом нормирования запчастей следует считать такой, при котором запасы деталей, узлов и агрегатов определяются по каждому наименованию с учетом случайного характера возникновения отказов и конкретных условий эксплуатации. Этот метод хорошо разработан в теории надежности. Суть его заключается в следующем. В первом приближении число запасных элементов, узлов, агрегатов должно быть равно числу их отказов за рассматриваемый период их эксплуатации *(t)*.

Среднее число отказов совокупности *N* однотипных элементов

$$n_{ср} = Nt / T,$$

где $T$ – наработка на отказ.

В общем случае число запасных элементов $z = n_{ср}$.

Вероятность того, что за время $t$ потребуется точно $z$ запасных элементов, определяется из выражения

$$P_z(t) = \frac{(Nt)^z}{T^2 z!} e^{\frac{NT}{T_i}} \quad \text{(формула Пуассона)},$$

где $z = 0, 1, 2, \ldots, i, \ldots, \infty$.

Среднее количество запасных элементов, расходуемых за межремонтный период $t_{ср}$, равно среднему числу отказов:

$$z_{ср} = Nt_{ср} / T.$$

В силу случайности возникновения отказов может потребоваться больше или меньше запасных элементов, чем $z_{ср}$. При запасе элементов $N_з$, равном ожидаемому их расходу $z_{ср}$, то есть если коэффициент запаса $k_з = N_з / z_{ср} = 1$, потребность в них будет удовлетворена с гарантированной вероятностью $P = 0.5$, которой недостаточно. Нужно рассчитать число запасных элементов с заданной гарантированной вероятностью их наличия $P_β$, равной не менее 0.9, а лучше 0.95. Эта вероятность зависит от характера отказа.

Так, при отказе, ведущем за собой большие убытки от простоя, $P_β = 0.95 ... 0.97$, а при отказе с тяжелыми последствиями (угроза для жизни) $P_β = 0.9$.

Вероятность того, что за межремонтную наработку $t_{мр}$ потребуется не больше, чем $N_з$ запасных элементов, может быть определена из выражения

$$P_{N_з}(t_{мр}) = e^{-z_{ср}} \sum_{z=0}^{N_з} \frac{z_{ср}^{\,z}}{z!} \geq P_β \ .$$

Для обеспечения высокой вероятности ликвидации отказов по факту наличия запасных элементов в запасе необходимо иметь не $z_{ср}$, а $N_з$ запасных частей.

Всегда $k_з > 1$, причем с увеличением среднеожидаемого количества отказов $z_{ср}$, т.е. при обеспечении запаса на большее число элементов или на более длительный срок их эксплуатации, коэффициент запаса уменьшается (рис. 8.6).

Уменьшение $к_з$ с увеличением $z_{ср}$ указывает на целесообразность концентрации однотипных машин на одном предприятии, горизонте или группе близко расположенных предприятий (кустовой центральный склад)

Суммарное количество запасных частей для предприятия определяется из выражения

$$N_{общ} = N_з + N_{р.з} + N_{хр} + N_{пр},$$

где $N_з$ – число запасных элементов для ликвидации отказов; $N_{р.з}$ – число элементов для регламентированных замен (ППР); $N_{хр}$ – расход элементов при хранении; $N_{пр}$ – расход элементов из-за прочих причин.

В настоящее время разработаны системы автоматического учета и распределения запасных частей, начиная с поступления на склад и кончая использованием их на конкретной машине, находя-

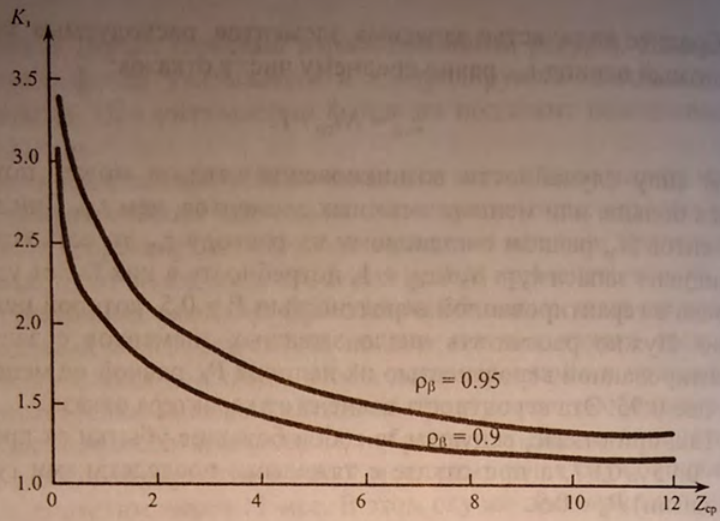



**Рис. 8.6. Зависимость коэффициента запаса от числа машин.**

щейся в ТО, ППР или аварийном ремонте. Такая система разработана НПП «Спецтэк» (г. Санкт-Петербург) для Восточного рудника ОАО «Апатит».

На основании анализа статистических данных о надежности машин в АК «АЛРОСА» разработаны нормативы запчастей для всех моделей автосамосвалов в зависимости от срока службы (израсходованного ресурса) табл. 8.4.

*Таблица 8.4*

**Дифференцированные нормы расхода запасных частей для проведения ТО и ремонта автосамосвалов в условиях АК «АЛРОСА» (% от стоимости автосамосвала)**

| Возраст автосамосвала, лет | CAT-785 | HD-1200 | D-510E | БелАЗ-75125 |
|---|---|---|---|---|
| 0–1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 1–2 | 15 | 10 | 10 | 10 |
| 2–3 | 30 | 25 | 25 | 25 |
| 3–4 | 20 | 15 | 15 | 20 |
| 4–5 | 10 | 15 | 15 | 20 |
| 5–6 | 30 | 25 | 25 | 15 |
| 6–7 | 25 | 20 | 20 | – |
| 7–8 | 15 | 10 | 10 | – |
| 8–9 | 10 | 5 | 5 | – |
| 9–10 | 5 | – | – | – |
| **Всего** | **165** | **130** | **130** | **95** |
| Среднее в год | 16.5 | 14.4 | 14.4 | 15.8 |

Нормы установлены следующим образом:

• в начальный период, когда машина новая, запасные части необходимы в минимальном объеме для проведения ТО и непланового текущего ремонта в незначительном объеме. Крупные отказы устраняются по гарантийным обязательствам за счет фирмы-изготовителя;

• в средний период основной объем средств потребляется для проведения капитальных ремонтов агрегатов и узлов, которым соответствуют пики норм расхода запасных частей;

• в заключительный период, когда машина приближается к моменту списания, капитальные ремонты не планируются, агрегаты дорабатывают свой ресурс, и запасные части планируются только на неплановый текущий ремонт, объемы которого значительно возрастают, и ТО.

Применение разработанных норм расхода запасных частей позволит в полной мере использовать преимущества агрегатно-узлового метода ремонта через оборотный фонд, повысить наработку на отказ отдельных агрегатов и узлов и автосамосвала в целом, а, следовательно, увеличить производительность эксплуатируемого парка машин.

Анализ трудоемкости разборочно-сборочных операций при замене основных узлов и агрегатов автосамосвалов показал, что использование в полном объеме агрегатно-узлового метода ремонта позволяет увеличить производительность автосамосвалов на 10–15 %.

В условиях АК «АЛРОСА» характерна сложная и дорогостоящая схема доставки запасных частей от поставщика. Поэтому для оптимизации их потоков к потребителю целесообразно создавать консигнационный склад запасных частей на территории предприятия. Объемы и потоки запасных частей к горно-транспортному оборудованию следует производить раздельно по партиям автосамосвалов, имеющим близкие сроки ввода в эксплуатацию (не более 1 года) [6].

Современные системы автоматизации и диспетчеризации горного производства должны непременнно иметь в своей структуре блок учета и контроля потоков запасных частей к оборудованию. Этот блок должен обеспечивать:

• точную дату поступления запасного агрегата, узла, детали на склад;

• маркировку (код) запчасти;

• стоимость запчасти;

• фиксирование точной даты вывода запчасти из склада;

• место назначения запчасти;

• продолжительность доставки запчасти к месту назначения;

• точное время установки запчасти на машину;

• продолжительность установки агрегата, узла, детали на машину;

• ФИО операторов, отпускающих запчасти со склада и ремонтников, устанавливающих их на машину;

• замеченные дефекты у запчастей;

• движение потока запчастей на складе в течение суток, месяца, года по их видам.

Все эти функции соответствующий блок в системе диспетчеризации производства должен выполнять с использованием соответствующего программного обеспечения.

Большую роль играют в этом процессе современные автоматизированные склады, которые, естественно, следует создавать на крупных горных предприятиях с численностью машин в парках в сотни единиц. Современный автоматизированный склад является технически весьма сложным объектом, которым управляет «АСУ «Склад». Основой конструктивного устройства склада являются стеллажи, а средствами механизации для перемещения запчастей – подвесные конвейеры, электрокары и различные типы подъемников. Автоматизированные склады с использованием высоких стеллажей позволяют использовать не только их площади, но и весь объем складских помещений.

Система управления складом обеспечивает не только надежную и высокопроизводительную работу всех механизмов, но и позволяет получать в реальном масштабе времени необходимые документы о состоянии и движении всех материальных ресурсов.

Фирмой ООО НПФ «Интер» разработан проект модернизации склада запчастей для ОАО ТФК «КамАЗ», в котором предусмотрена система автоматического управления и модернизация оборудования.

При создании автоматизированных складов запчастей используются основные принципы логистики. Одной из главных проблем внутренней логистики является надежное складирование и хранение различного оборудования – комплектующих, запчастей, различных деталей. Обычно эта проблема решалась раньше приобретением стеллажных систем для складирования поддонов или простых стеллажей для хранения мелких деталей. Но с каждым днем специалисты сталкиваются еще с одной проблемой – ограничение площадок склада, время поиска необходимых узлов и деталей. Над решением этой проблемы успешно работает швейцарская фирма «KARDEX AG», по проектам которой оборудованы автоматизированные склады во многих странах.

Решив проблему автоматизированных складов запчастей, наши горные предприятия значительно повысят эффективность использования технологического и вспомогательного оборудования, а также культуру производства.

# 9. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Одной из главных задач создания и внедрения на горных предприятиях систем диспетчеризации и автоматизации комплексов является обеспечение высокой степени их безопасности. При этом следует рассматривать отдельно безопасность техническую и экологическую безопасность эксплуатируемых объектов. При этом следует иметь ввиду, что значение и роль экологической безопасности резко возросли в последние годы.

## 9.1. Способы повышения технической безопасности ГТК

Безопасная эксплуатация горно-транспортных комплексов на открытых и подземных работах регламентируется «Едиными правилами безопасности», «Правилами технической эксплуатации» (ПТЭ) машин и механизмов, техническими паспортами оборудования, различными местными инструкциями по безопасной эксплуатации машин и комплексов.

Горно-транспортные комплексы как наиболее динамичная и сложная система горного предприятия в эксплуатации является наиболее опасной, о чем свидетельствует статистика несчастных случаев.

Повышение безопасности этих комплексов стало возможным благодаря лучшему контролю за работой транспортных средств, регулированию их потоков, скоростей движения, повышению производственной дисциплины операторов при использовании системы диспетчеризации.

Изучение проектов систем диспетчеризации ГТК, выполненных ведущими мировыми компаниями, показало, что в них отсутствует раздел «Управление промышленной безопасностью ГТК». Единственная компания, которая об этом упоминает, - это «Micromine» (Австралия).

Однако какое-либо наполнение раздела отсутствует. Попытку в этом направлении сделала компания ННП «Спецтэк» (Санкт-Петербург), которая в своем программном комплексе «TRIM» рекомендует разработанную ею нарядно-допускную систему, обеспе-



18 Зак. № 4488

чивающую необходимую безопасность работ. Суть этой системы видна из рис. 9.1, 9.2.

При подготовке наряда указывается информация о руководителе работы, производителе, дате, времени начала и окончания работ, об условиях безопасного проведения работ. Подготовленный к выдаче наряд можно распечатать по форме, определенной нормативной документацией, поместив в эту форму всю печатную информацию, указанную на стадии подготовки.

В качестве помощи персоналу, подготавливающему наряды-допуски, реализована схема выбора лиц, ответственных за безопасность работ по нарядам, из списков, утвержденных главным инженером.

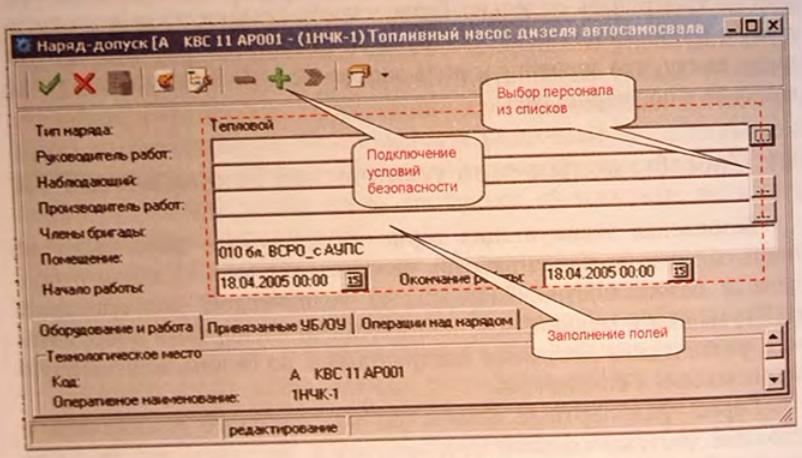



**Рис. 9.1. Вид наряда-допуска на мониторе РС.**

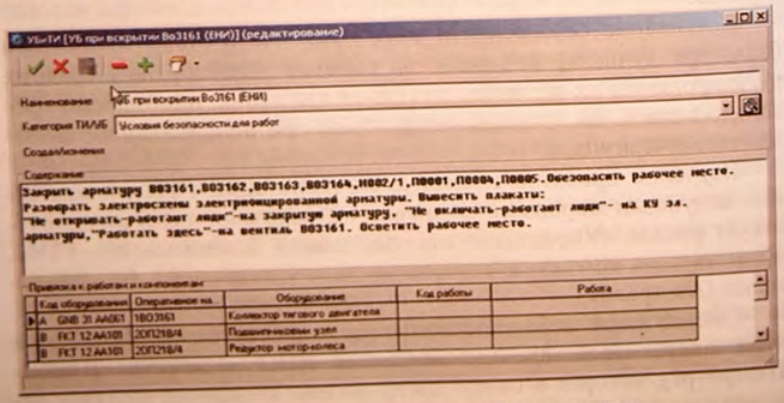



**Рис. 9.2. Формирование базы данных условий безопасности.**

В соответствии с заполненными полями формируется бланк установленного образца.

Кроме того, система предусматривает учет работы по распоряжениям и по нарядам.

Автоматизация нарядно-допускной системы позволяет:

- уменьшить «рутинную работу» (подготовка нарядов);
- повышение эффективности взаимодействия персонала, прозрачность процесса;
- оперативное управление состоянием ремонтных работ;
- отказ от ведения бумажных журналов.

Ведение постоянного мониторинга за процессом экскаваторной погрузки, движения самосвалов и железнодорожных составов по карьерным путям, за техническим состоянием узлов и систем машин, наличие управляющих воздействий на режимы работы машин позволяют реализовать задачу управления технической безопасность объектов ГМК и ее повышения.

Возьмем, например, вопрос управления скоростью движения автосамосвалов по карьерным дорогам. В системе «КАРЬЕР» есть блок СУТЭП, который управляет скоростью движения машин на трассе. При превышении скорости сверх допустимой срабатывает устройство, снижающее потребляемую мощность и скорость уменьшается.

Важную роль в обеспечении безопасной работы самосвалов играет блок СКЗ, контролирующий их весовую загрузку горной массой. Известно, что перегруз крайне негативно сказывается на состоянии шин. Мало того, что шины при этом быстрее изнашиваются, но и при значительном превышении нагрузки на них они могут быть разрушены, особенно в летний период, при высоких значениях температуры окружающего воздуха (взрыв шины). Это очень опасно для рабочего персонала.

Что касается контроля эксплуатации крупногабаритных шин, то в этом направлении «ВИСТ Групп» в последнее время сделан шаг вперед, с привлчением к этим работам компании ООО «Покрышкин» (Санкт-Петербург). Эта компания является эксклюзивным дистрибьютором компании «Advantage Pressure Pro» (США). Она разработала Систему дистанционного контроля давления в шинах.

Известно, что более четверти всех аварий на автотранспорте происходит из-за пониженного давления в шинах. При этом увеличивается тормозной путь, снижается управляемость.

Потеря давления в шинах – естественный процесс.

Система контроля давления в шинах – это совокупность устройств и связей между ними, позволяющая бесконтактным способом определить, находится ли давление в пределах установленной нормы. Например, для автосамосвалов БелАЗ эти пределы состав-




**Рис. 9.3. Общий вид системы.**

ляют 0.5–0.6 МПа. Простые системы только предупреждают о том, что давление опустилось ниже нормы, более современные системы одновременно с этим сигналом выводят на дисплей абсолютную величину давления.

Общий вид системы «Advantage Pressure Pro» показан на рис. 9.3. Система может одновременно контролировать до 34 шин.

Основные параметры системы Advantage Pressure Pro

| | |
|---|---|
| Монитор | |
| Первый пороговый уровень срабатывания, % | –12.5 |
| Второй пороговый уровень срабатывания, % | –25 |
| Диапазон давлений, МПа | 0.07÷1.05 |
| Напряжение питания, В | 12/24 |
| Габариты, мм | 165 × 76 × 13 |
| Масса, г | 115 |
| Датчик | |
| Рабочая частота, МГц | 433.92 |
| Диапазон давлений, МПа | 0.07÷1.05 |
| Период обновления данных при нормальном давлении, мин | 5 |
| Задержка выдачи сигнала при падении давления, с | 7 |
| Источник питания | Встроенная батарея 3 В |
| Диапазон рабочих температур, °С | От –40 до +60 |
| Габариты, мм | Ø28 × 26 |
| Масса, г | 18 |
| Гочность замера давления, % | ±3 |
| Допустимая скорость при замерах | Любая, в том числе и на стоянке |

В 2006 г. на эту систему был получен сертификат России.

Установка системы на автомобиль занимает не более 1 часа.



**Рис. 9.4. Установка датчика контроля давления в шинах; стрелкой показано место установки.**

В течение 2006–2007 гг. эта система поставлена на следующие горные предприятия:

- ОАО «Ковдорский ГОК» – 33 комплекта;
- ОАО «Апатит» – 8 комплектов;
- ЗАО «Черниговец» – 2 комплекта»;
- ОАО «Костомукшский ГОК» – 62 комплекта;
- ОАО «Лебединский ГОК» – 6 комплектов;
- ОАО «Стойленский ГОК» – 2 комплекта;
- ОАО «Гранит-Кузнечное» – 2 комплекта.

Комплект на автосамосвал: 6 датчиков + монитор +вентильные устройства (переход, шланги и пр.). Стоимость – 40 тыс. руб.

Сложность работы системы на автосамосвалах БелАЗ заключается в следующем:

- датчики удалены от монитора за счет больших габаритов самосвала: ширина 7 м, длина 13.5 м, высота 5.4 м;
- за счет большой массы металла (собственный вес самосвала 105 т) и экранирующих перекрытий сигнал от датчиков существенно ослабляется;

• на задних колесах датчики находятся внутри «тарелки», направляющей сигнал в сторону;

• радиоаппаратура самосвала создает высокий уровень помех.

Однако успешный запуск систем на самосвалах БелАЗ подтверждает, что они будут надежно работать на любых моделях самосвалов.

Большую роль играет применение системы диспетчеризации в обеспечении безопасности ГТК путем постоянного контроля за их состоянием, возникновением отказов и восстановлением работоспособности машин. Нагруженность узлов, определяемая энергозатратами, позволяет также прогнозировать отказы, предупреждать аварии. Эксплуатация этих систем на горных предприятиях обеспечивает существенное повышение качества технического обслуживания и ремонта оборудования, а это непосредственно сказывается на безопасности его работы.

Функции системы диспетчеризации и автоматизации ГТК могут быть расширены с целью повышения контроля параметров машин и узлов, влияющих на безопасность их эксплуатации, например, тормозных систем, температурных режимов элементов трансмиссии и пр.

## 9.2. Повышение уровня экологической безопасности

Эффективность работы горно-транспортных комплексов оценивается экономическими показателями, позволяющими сравнить технико-эксплуатационные показатели и определить рациональные области применения этих параметров. Однако для более объективного учета эффективности работы комплексов на современном горном предприятии необходимо учитывать экологические и энергетические показатели их работы. Необходимы принципиально новые концептуальные модели, позволяющие совершенствовать конструкции транспортных машин и снижать загрязнения окружающей среды при их эксплуатации.

Экологические характеристики транспортного средства определяют три основных фактора: конструктивный, эксплуатационный (нагрузочный) и уровень технического обслуживания и ремонта.

Рассмотрим проблему экологической безопасности ГТК на подземных и открытых работах, решение которой непосредственно связано с системой диспетчеризации.

### 9.2.1. Экологическая безопасность комплексов на подземных работах

Наиболее сложную проблему в этом плане представляет эксплуатация самоходного оборудования, в частности, погрузочно-доставочных машин (ПДМ).

Безопасные условия эксплуатации самоходных горных машин в подземных рудниках, согласно требованиям санитарно-гигиенических норм, обеспечиваются подачей соответствующего количества свежего воздуха, минимальная величина которого нормируется в виде удельной нормы расхода воздуха для проветривания, которая должна быть не менее 6.5 $м^3$/мин на 1 кВт мощности дизельных двигателей. Данный показатель отражает мировой технический уровень горных машин, применявшихся на горнорудных предприятиях лишь к началу 70-х годов прошлого века.

В последующий период развитие самоходной дизельной техники и решение главной проблемы – снижение содержания ядовитых компонентов в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания (ДВС), образующихся из-за неполного сгорания топлива, происходило по следующим основным направлениям:

- конструктивные изменения в двигателях, улучшающие процесс сгорания топлива за счет уменьшения угла опережения впрыска топлива, совершенствования типа и способа смесеобразования (двустадийный процесс сгорания за счет применения разделенных камер сгорания. вихрекамерной и предкамерной) и др.;
- нейтрализация выхлопных газов двигателей в каталитических и жидкостных нейтрализаторах;
- совершенствование технического обслуживания дизельной техники и соблюдение оптимальных норм регулировки двигателей.

В настоящее время во многих ведущих горнодобывающих компаниях мира широко применяют современные высокопроизводительные, экологически безопасные подземные горные машины нового поколения (погрузочно-доставочные машины *TORO*-501ДЛ, *Cat*-980, автосамосвалы *TORO*-40Д, *TORO*-60Д), оснащенные двигателями *Cat*-3406 PCTA, *Cat*-3408 PCTA, *Detroit* 60 и др. Благодаря конструктивным усовершенствованиям (применение вихрекамерных дизелей с уменьшенным углом впрыска топлива, обедненной смеси, новых конструкций поршней, головок блока цилиндров, наличие турбонаддува и теплообменника последней ступени наддува, улучшение конструкции воздухозаборника и камеры сгорания) дизельные двигатели этих машин существенно меньше выбрасывают выхлопных газов по сравнению с лучшими отечественными и зарубежными образцами горных машин прежнего поколения. Поэтому по международным стандартам (*MSHA*)

удельная норма расхода вентиляционного воздуха снижена до 2.2–2.9 м$^3$/мин на 1 кВт.

Ранее норма расхода воздуха была завышена. Еще в начале 80-х годов был обоснован и впоследствии введен на подземных рудниках Норильского ГМК норматив расхода воздуха на проветривание 3 м$^3$/мин на 1 кВт мощности.

Аэрогазохронометражные наблюдения в процессе производства очистных и проходческих работ на шахтах Жезказгана, проведенные в начальный период эксплуатации новой техники институтами НИПИцветмет и ИГД НАН РК совместно с ВГСО № 27, позволили ИГД НАН РК в 1996 г. разработать и утвердить (по согласованию с институтом КазНИИБГП и Госгортехнадзором РК) измененные по сравнению с Инструкцией удельные нормы расхода воздуха на единицу мощности дизельных двигателей, нижние пределы которых составили 2.3 м$^3$/мин на 1 кВт для автосамосвалов ТОРО-40Д с двигателями *Cat*-3408 и 2.02 м$^3$/мин на 1 кВт для погрузочно-доставочных машин ТОРО-501ДЛ с двигателями *Cat*-3406.

С 1997 г. расчеты по определению потребного количества воздуха для проветривания действующих и проектируемых шахт на Жезказганском месторождении, а также оценка воздухообеспеченности очистных панелей и шахт производятся на основе указанных нормативов. Более чем четырехлетняя практика эксплуатации самоходных дизельных машин нового поколения на шахтах Жезказгана, результаты постоянных газовых замеров ВГСО и экспериментальных наблюдений НИПИцветмета за состоянием шахтной атмосферы подтверждают справедливость и обоснованность измененных нормативов воздуха. Так, анализ фактической загазованности воздушной среды на подземных рудниках Жезказгана за период с 1990 по 2000 гг., выполненный по данным ВГСО № 27, свидетельствует о том, что в результате внедрения на шахтах Жезказгана новой техники (после 1995 г.) среднегодовое количество превышений предельно допустимых концентраций (ПАК) в зоне работы машин с ДВС снизилось по сравнению с предыдущим периодом в 4.2 раза, а количество превышений норм в отработавших газах машин — в 2.7 раза.

Статистическая обработка фактических данных ВГСО подтверждает тот факт, что дизельные двигатели зарубежных горных машин в реальных условиях эксплуатации выдерживают требования по допустимому содержанию отработавших газов даже без газоочистки (рис. 9.5, *а*), а содержание CO в них даже ниже нормы в 2.4 раза (рис. 9.5, *б*) причем содержание отработавших газов практически не изменяется с увеличением сроков эксплуатации (рис. 9.6). Данное обстоятельство, наряду с имеющим место на практике постоянным

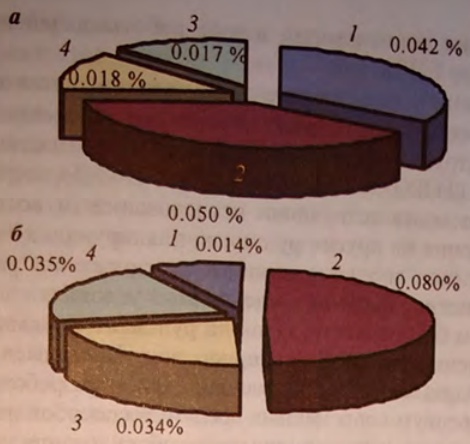



**Рис. 9.5. Диаграмма содержания отработавших газов двигателя Cat-3406 РСТА.**

*а* — оксиды азота; *б* — оксид углерода: *1* — по паспорту без газоочистки; *2* — допустимое по Инструкции после газоочистки; *3* — фактическое за 1999 г. до газоочистки; *4* — фактическое за 2000 г. до газоочистки.




**Рис. 9.6. Изменение содержания отработавших газов двигателем Cat-3406 РСТА в зависимости от срока эксплуатации машины.**

обновлением парка самоходного оборудования, исключает необходимость повышения прежнего предела установленных нормативов по расходу воздуха по мере увеличения срока службы горных машин. Следует отметить, что указанные показатели достигнуты в условиях эксплуатации зарубежных горных машин с одной ступенью очистки (каталитической) отработавших газов, в то время как действующая инструкция обязывает иметь две ступени — каталитическую и жидкостную.

В этой связи представляется возможным разрешить отмеченные противоречия в рамках действующей Инструкции, если следовать ее основным требованиям по санитарно-гигиеническому нормированию в части ПДК отработавших газов до и после газоочист-

ки, а также их концентраций в зоне работы дизельных машин с ДВС (согласно ЕПБ).

На основании вышеизложенного представляется вполне обоснованной практика применения измененных по сравнению с действующей Инструкцией норм расхода воздуха для новых видов горной техники (ТОРО-501ДА), Cat-980, ТОРО-40Д), подтвержденных результатами соответствующих исследований, и возможность их распространения на других рудниках, планирующих эксплуатацию указанных типов горных машин на проходческих работах и погрузке на очистных работах в идентичных условиях.

Вопросам безопасности труда на рудниках придается исключительное значение. Например, в корпорации «Казахмыс» создано специальное подразделение, которое занимается разработкой, испытанием и внедрением современных средств и способов нейтрализации ОГ дизелей подземного самоходного оборудования и карьерного автотранспорта. В результате комплекса работ, выполненных в этом направлении, реализованы основные принципы подбора дизельных двигателей, эффективные способы нейтрализации ОГ и разработаны правила эксплуатации подземного самоходного оборудования с приводом от двигателей внутреннего сгорания. Так, к эксплуатации в подземных условиях допускаются только дизельные двигатели с менее токсичными ОГ и менее пожароопасные, чем карбюраторные. Суммарная токсичность ОГ дизелей с полуразделенной и разделенной камерами сгорания на порядок меньше, чем у дизелей с непосредственным впрыском топлива. Особенно низкое содержание токсичных продуктов неполного сгорания топлива содержится в ОГ дизелей с электронным управлением рабочим процессом и формированием качества топливного заряда двигателя. Но даже, несмотря на столь радикальные меры, направленные на создание малотоксичных двигателей, в составе ОГ содержатся токсичные компоненты, в десятки раз превышающие санитарные нормы, что сильно затрудняет эксплуатацию самоходного оборудования. Для разбавления ОГ до санитарных норм требуется большое количество свежего воздуха, которым, в некоторых случаях, по техническим и экономическим причинам практически невозможно обеспечить выработки. Поэтому перед выбросом ОГ в рудничную атмосферу необходимо максимально очистить (нейтрализовать) их от токсичных компонентов.

Современная газоочистительная аппаратура позволяет сократить содержание токсичных компонентов в ОГ в 10 раз и более и во столько же раз сократить подачу свежего воздуха для проветривания выработок, необходимого для поддержания рудничной атмосферы в пределах санитарных норм.

Для нейтрализации токсичных компонентов, образующихся в результате неполного сгорания топлива, широко применяют ката-

литические нейтрализаторы. В них в качестве катализатора в основном используется платина, реже — рений, палладий и другие металлы, а также ряд композиционных соединений. Носителем катализатора служит оксид алюминия $Al_2O_3$, полученный из бемитного гидроксида в виде таблеток, отдельных трубок, пластин и т.д. Чаще всего применяют гранулированный носитель (диаметр гранул 3–5 мм) или выполненный в виде сот [1]. Однако, несмотря на относительно высокую механическую прочность такого носителя (до 740–900 Н/см$^2$) и развитую поверхность (66–89 м$^2$/г), долговечность каталитических нейтрализаторов с керамическим носителем очень мала и не превышает 2.5–3 тыс. мото-ч работы дизеля. Это объясняется тем, что подземные машины имеют жесткую подвеску, и в результате частых колебаний катализатор быстро истирается, разрушенные частицы носителя потоком газа выбрасываются в атмосферу, и эффективность нейтрализации ОГ резко падает. Такие нейтрализаторы неудобны в эксплуатации и требуют значительных затрат на их содержание.

С учетом вышеизложенных недостатков в корпорации «Казахмыс» разработаны каталитические нейтрализаторы для всех типов подземных машин с катализатором на металлическом носителе [1]. Такие нейтрализаторы имеют срок службы до 11 тыс. мото.ч, работают в любом положении и не требуют дополнительных затрат на их эксплуатацию. Каталитический блок нейтрализатора поддается регенерации, и срок его нормальной работы увеличивается практически вдвое. В качестве первичного носителя используется листовая сталь из сплава Х18Ю5 толщиной 0.05–0.025 мм (в 10 раз тоньше, чем в керамических блоках). Газодинамическое сопротивление нейтрализатора не превышает 3–4 кПа, а по массе и габаритам они соизмеримы со штатным глушителем, роль которого и выполняет газоочиститель. Первичному носителю из металлической ленты можно придать практически любую форму, он не разрушается из-за колебаний машины. Каталитический блок на металлическом носителе быстрей прогревается до момента начала эффективной нейтрализации отработавших газов. При температуре 300°С и выше эффективность нейтрализаторов по СО составляет 85–98 %, по углеводородам — 60–85 %, по альдегидам — около 85 %, дымность ОГ снижается на 12–15 %.

Присущая всем каталитическим нейтрализаторам, работающим с дизелями, малая эффективность при низких (ниже 225 °С) температурах ОГ устраняется путем электроподогрева блока. При этом в качестве нагревательного элемента может быть использован первичный носитель.

Разработанные в Корпорации каталитические нейтрализаторы типа Д2Б с: катализатором на металлическом носителе широко

используются на всех подземных машинах и карьерном автотранспорте как внутри предприятия, так и за его пределами, в том числе в ближнем зарубежье. Эти нейтрализаторы по эффективности не уступают лучшим зарубежным аналогам, а стоимость их на 30–40 % ниже.

Для эксплуатации подземного самоходного оборудования с дизельным приводом в тяжелых условиях, на труднопроветриваемых участках разработана комбинированная система нейтрализаиии ОГ, состоящая из каталитического и жидкостного нейтрализаторов: на машине после каталитического нейтрализатора устанавливается специально разработанный жидкостный нейтрализатор типа газлифт. Последний имеет малое газодинамическое сопротивление и обеспечивает максимальное время контакта газа с жидкостью, что способствует высокой очистке ОГ от водорастворимых токсичных компонентов. Отработавший газ из двигателя вначале поступает в каталитический нейтрализатор, где происходит беспламенное дожигание токсичных продуктов неполного сгорания топлива, а затем проходит через жидкостный нейтрализатор и дополнительно очищается от водорастворимых токсичных компонентов. Эффективность жидкостных нейтрализаторов достигает по альдегидам 50–60 %, по сернистым соединениям — 100 %, по оксидам азота — 12 %, по саже — 35–40 %. Температура ОГ после нейтрализатора снижается до 60–70 % от первоначальной. Кроме того, после жидкостных нейтрализаторов резко уменьшается неприятный, раздражающий запах.

Жидкостные нейтрализаторы типа газлифт состоят из двух частей — основной с контактной колонной и дополнительной с запасом жидкости для расхода в течение смены, поэтому они легко компонуются даже в серийных машинах.

В особых случаях на подземных машинах применяют комплексную систему нейтрализации ОГ дизелей (рис. 9.7), включающую в себя, кроме жидкостного и каталитического нейтрализаторов, систему частичной рециркуляции ОГ на всасывании двигателя и использование антидымных присадок к топливу. Использование комплексной системы обеспечивает более глубокую очистку ОГ от токсичных компонентов (табл. 9.1), однако данная система используется в редких случаях, так как имеет сложную конструкцию и требует дополнительных затрат на её изготовление и эксплуатацию.

Насущной проблемой остается создание простых и надежных средств для очистки ОГ от оксидов азота, так как традиционный способ нейтрализации их неприемлем из-за достаточно большого количества кислорода в ОГ дизелей.

Хотя до настоящего времени не создано надежных, эффективных нейтрализаторов ОГ для карьерных автосамосвалов, безусловно,

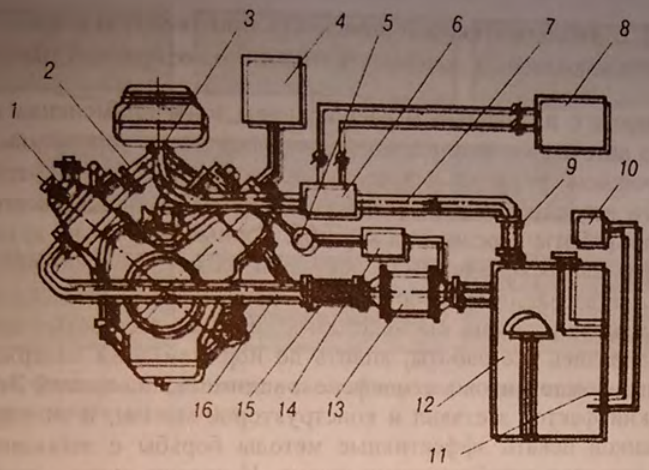



**Рис. 9.7. Комплексная система нейтрализации отработавших газов (ОГ) дизелей самоходного оборудования.**
*1* – дизель; *2* – всасывающий патрубок; *3* – смесительный патрубок; *4* – емкость для топлива с антидымной присадкой; *5* – блок питания подогрева нейтрализатора; *6* – исполнительный механизм; *7* – труба рециркуляции ОГ; *8* – блок управления системой частичной рециркуляции ОГ; *9* – фильтр; *10* – блок управления электролизером; *11* – электролизер; *12* – жидкостный нейтрализатор; *13* – каталитический нейтрализатор; *14* – блок управления системой подогрева; *15* – гибкое соединение; *16* – выпускная труба.

проводимые в этом направлении исследования и конструкторские разработки должны в скором времени дать положительные результаты. В системах диспетчеризации и автоматизации ГТК необходимо предусмотреть блок мониторинга работы нейтрализаторов.

*Таблица 9.1*
**Эффективность комплексной системы нейтрализации ОГ**

| Способ нейтрализации отработавших газов | Эффективность нейтрализации, % | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | CO | $NO_x$ | Сажа | Углеводороды | Альдегиды | Сернистый ангидрид |
| Антидымная присадка бариевая | – | – | 50 | – | – | – |
| Каталитический нейтрализатор Д2Б | 95 | – | 15 | До 60 | До 70 | – |
| Жидкостный нейтрализатор газлифт | – | 7–12 | До 40 | – | 80–95 | До 100 |
| Частичная рециркуляция увлажненных ОГ (автоматическая) | Общий выброс отработавших газов снижается до 30 %, концентрация $NO_x$ – в 2–3 раза | | | | | |

### 9.2.2. Экологическая безопасность при эксплуатации пневмоколесных дизельных машин* на открытых работах

Вместе с интенсивным расширением зоны применения карьерного автотранспорта, ростом объема перевозок горной массы и увеличением грузоподъемности автосамосвалов растет и негативное его воздействия на окружающую среду и, прежде всего, на условия работы персонала в карьере. Горные работы на крупных карьерах за последние 10–15 лет ушли на глубину 300–480 м и более, загазованность рабочего пространства карьеров приняла угрожающие размеры. На некоторых карьерах полностью приостанавливались все работы, вплоть до нормализации содержания вредных компонентов в атмосфере и видимости на трассе. Экологический фактор заставил и конструкторов машин, и эксплуатационников искать эффективные методы борьбы с загазованностью карьеров отработавшими газами. И прежде всего – существенно снизить удельный расход топлива на транспортирование горной массы и усовершенствовать конструкцию дизеля с целью уменьшения выбросов вредных веществ.

Анализ отечественного и зарубежного опыта показывает, что основными направлениями совершенствования конструктивных и эксплуатационных характеристик карьерных автосамосвалов следует считать следующие:

- динамичный темп нарастания их грузоподъемности, сдерживаемый только мощностью двигателя и несущей способностью применяемых шин;
- увеличение номенклатуры автосамосвалов типажного ряда;
- улучшение эксплуатационных и экологических показателей;
- совершенствование системы управления работой и обслуживания (диспетчеризация и автоматизация).

Для теоретического обоснования применения наиболее экологически и энергетически совершенных горнотранспортных комплексов необходимы методики сравнительной оценки эффективности применения моделей современных автосамосвалов (и их комбинаций) с учетом энергетических и экологических характеристик.

В СПГГИ (ТУ) выполнены комплексные исследования по улучшению экологических характеристик карьерного автотранспорта [14], предложены и апробированы методы снижения загазованности карьеров [10, 12], разработана методика прогнозирования объемов вредных выбросов в зависимости от горнотехнических условий и моделей применяемых автосамосвалов. Результаты этих

---

* Раздел написан совместно с В. Ю. Коптевым.

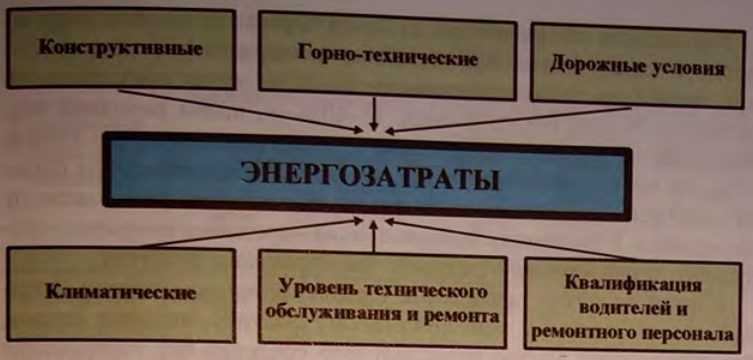



**Рис. 9.8. Факторы, определяющие энергозатраты на транспортирование карьерным автосамосвалом.**

исследований докладывались на различных международных конференциях, симпозиумах и опубликованы во многих статьях.

Конструктивный фактор определяется совершенством узлов и агрегатов, которые преобразуют тепловую энергию сгораемого топлива в механическую. За оценку энергетической характеристики принят коэффициент полезного действия (КПД), непосредственно определяющий затраты энергии на транспортирование (рис. 9.8).

Такой подход позволяет оценивать совершенство отдельно взятых узлов и агрегатов машины, так как значение КПД в целом не является величиной постоянной, потому что потери, например, в трансмиссии, в полюсах зацепления, связанные с периодическим скольжением зубьев друг относительно друга, потери в опорах валов, потери на взбалтывание масла в картере редукторов, гидравлические потери в гидротрансформаторе и потери в фрикционных управляющих элементах (тормозах или муфтах), зависят от скоростей вращения зубчатых колес и от передаваемого момента и, следовательно, для каждого нагрузочного режима значение КПД меняется.

Исследования показали, что менее 32 % общей энергии, получаемой в результате химической реакции окисления дизельного топлива в цилиндрах двигателя, идет на совершение полезной работы, даже без учета собственной массы транспортного средства. Остальная энергия идет на преодоление диссипативных сил, образуя огромный потенциал по улучшению энергетических показателей. Увеличение КПД дизельного двигателя с 0.38 до 0.45 позволяет повысить КПД всей машины от 0.32 до 0.38 (в зависимости от вида трансмиссии). Следовательно, и это подтверждается многочисленными исследованиями повышение топливной экономичности двигателя является первостепенной задачей.

По оценкам специалистов, до 20–25 % расхода топлива затрачивается на качение шин. Расчеты показывают, что из остальных потерь энергии на транспортирование 60–65 % затрат приходится на шины задней оси тягача и лишь 35–40 % на шины передней оси. При перемещении тягачом прицепа 60 % приходится на его колеса, 25 % – на шины задней оси тягача, и лишь 15 % приходится на шины передней оси. Расход энергии на потери при качении шин зависит от конструкции и материала шин, состояния дорожного покрытия, скоростного и нагрузочного режимов, квалификации водителя.

Одним из путей повышения топливной экономичности, который можно отнести к конструктивному фактору, является снижение собственной массы транспортного средства без уменьшения мощности его дизеля за счет применения более легких сплавов и материалов, не уступающих по своим прочностным и ресурсным показателям применяемым ныне. В среднем коэффициент собственной массы составляет для карьерных автосамосвалов 0.6÷0.8. Второй важной характеристикой конструктивного фактора являются ресурсные показатели узлов и агрегатов, так как они непосредственно определяют устойчивость энергетических потерь от наработки. Статистические материалы в данном случае дают значительную погрешность, потому что обслуживание и ремонт агрегатов часто производятся с отступлением от требований заводов-изготовителей из-за отсутствия запасных частей, необходимого ремонтного и регулировочного оборудования, недостаточной квалификации ремонтного персонала. Поэтому для оценки влияния наработки на энергетические характеристики использован экспертный метод, позволяющий выявить изменение КПД в зависимости от наработки и применяемой системы технического обслуживания и ремонта. Полученные результаты свидетельствуют о том, что наработка влияет на энергетические показатели силового модуля карьерных автосамосвалов (ДВС, генератор, тяговые двигатели).

Загрязнение окружающей среды вредными выбросами в отработавших газах (ОГ), по разным оценкам, составляет 90–95 %. Структура и количество вредных веществ в отработавших газах приведены в табл. 9.2, а сравнительные экологические характеристики дизелей – в табл. 9.3.

Расчеты показывают, что с увеличением грузоподъемности самосвала при обеспечении заданной производительности потребное число автосамосвалов снижается, а суммарное количество ВО в ОГ уменьшается (табл. 9.4)

Все способы снижения вредных выбросов в отработавших газах (ОГ) и создания нормальных гигиенических условий при работе дизельных машин можно разделить на две группы: активные и пассивные [10]. Первые направлены на абсолютное сокращение объемов



*Таблица 9.2*

| Наименование, обозначение компонента | Ком |
|---|---|
| Окислы азота, сумма по ($NO_2$) | |
| Частицы (С) | |
| Окись углерода (СО) | |
| Углеводороды (СН) сумма по $C_3H_8$ | |
| **Не нормир** | |
| Окислы серы сумма по ($SO_2$) | |
| Альдегиды, сумма по акролеину | |
| ПАУ сумма по Бенз(α)пирену | |

*Таблица 9.3*

**Экологиче**

| № п/п | Назначени |
|---|---|
| 1 | Тепловозный |
| 2 | Автомобильн |
| 3 | Автомобильн |
| 4 | Тепловозный |
| 5 | Автомобильн |
| 6 | Автомобильн |
| 7 | Автомобильн |
| 8 | Автомобильн |

*Таблица 9.2*

**Характеристика вредных выбросов дизелей**

| Наименование, обозначение компонента | Содержание в отработавших газах | | Предельно допустимая концентрация (ПДК) | | Индекс токсичности для атмосферы |
|---|---|---|---|---|---|
| | Концентрация мг/м$^3$ | Удельный выброс г/кВт·ч | В атмосфере мг/м$^3$ | В воздухе раб. зоны мг/м$^3$ | |
| Компоненты, нормируемые стандартами на двигатели | | | | | |
| Окислы азота, сумма по ($NO_2$) | 4500–1500 | 20–6 | 0.085 | 2 | 17000–53001 |
| Частицы (С) | 50–400 | 0.25–2.0 | 0.15 | 4 | 300–2600 |
| Окись углерода (СО) | 500–2000 | 2.5–10 | 5.0 | 20 | 100–400 |
| Углеводороды (СН) сумма по $C_3H_8$ | 25–250 | 0.25–2.5 | 5.0 | – | 5–50 |
| Не нормируемые компоненты, опасность которых общепризнанна | | | | | |
| Окислы серы сумма по ($SO_2$) | 50-500 | 0.25–2.5 | 0.15 | 4 | 300-3000 |
| Альдегиды, сумма по акролеину | 10-40 | 0.05–0.2 | 0.03 | 0.2 | 350-1400 |
| ПАУ сумма по Бенз(α)пирену | $0.3\cdot10^{-3}$ | $1.5\cdot10^{-3}$ | $1\cdot10^{-6}$ | $1.5\cdot10^{-4}$ | до 300 |

*Таблица 9.3*

**Экологические характеристики российских и зарубежных транспортных дизелей**

| № п/п | Назначение | Заводская марка | Производитель | Мощность, кВт | Выбросы г/кВт·ч | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | $e_{NOx}$ | $e_{CO}$ | $e_{CH}$ |
| 1 | Тепловозный | 3Д49 (V12) | КЗ | 2150 | 11.3 | 2.68 | 0.32 |
| 2 | Автомобильный | 6ДМ 21А | ТМЗ | 736 | 10.3 | 4.60 | 0.85 |
| 3 | Автомобильный | 1Д12Н-500С2 | БТМ | 382 | 7.5 | 5.94 | 0.34 |
| 4 | Тепловозный | 1Д12-400БС2 | БТМ | 294 | 13.1 | 5.82 | 0.61 |
| 5 | Автомобильный | 740.21-240 | КАМАЗ | 176 | 8.1 | 4.43 | 0.94 |
| 6 | Автомобильный | ЯМЗ-840 | ЯМЗ | 360 | 7.4 | 4.6 | 0.89 |
| 7 | Автомобильный | 3512 | Катерпиллар | 962 | 6.9 | 2.19 | 0.33 |
| 8 | Автомобильный | НМ6U | РАБА-МАН (лиц. MAN) | 140 | 6.77 | 7.44 | 1.28 |



19 Зак. № 4488

*Таблица 9.4*

**Расчетное содержание вредных выбросов в отработавших газах автосамосвалов (при L = 3.8 км и уклоне 4%)**

| Марка а/с и тип дизеля, грузоподъемность | Объем перевозок (грузонапряженность), млн т/год | Кол-во а/с в работе (в смену) | Вредные выбросы 1 автосамосвалом за 1 рейс, гр | | | | Суммарная приведенная масса выбросов, усл.т/год | Приведенная масса выбросов к 1 км дороги, усл.т/год | Снижение массы выбросов, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $NO_x$ | CO | ∑CH | C | | | |
| БелАЗ –75485 | 35 | 80 | 844.4 | 632 | 17.1 | 44.55 | 38.9 | 102.4 | 100 |
| (42т) | 20 | 46 | | | | | 22.4 | 588.8 | |
| ЯМЗ-240НМ | 10 | 23 | | | | | 11.2 | 294.4 | |
| БелАЗ-7549 | 35 | 42 | 1203.4 | 916.8 | 24.94 | 73 | 30.09 | 789.5 | 77 |
| (80т) | 20 | 24 | | | | | 17.17 | 451.0 | |
| 6ДМ-21А | 10 | 12 | | | | | 8.85 | 225.5 | |
| БелАЗ-75191 | 35 | 31 | 1582.6 | 1178.6 | 32.06 | 84.9 | 28.4 | 74.61 | 73 |
| (110т) | 20 | 18 | | | | | 16.5 | 43.3 | |
| 8ДМ-21-А | 10 | 9 | | | | | 8.2 | 21.6 | |

вредных компонентов в ОГ и самих ОГ при выполнении транспортными средствами того же объема работ, вторые – на нейтрализацию вредного воздействия ОГ на человека и окружающую среду без снижения общих объемов выбросов (рис. 9.9). Рассмотрим эти способы. Объем ОГ дизелей, при прочих равных условиях, пропорционален количеству израсходованного топлива, следовательно, оптимизируя рабочий цикл по энергетическому критерию, тем самым мы оказываем воздействие на количество выбросов ОГ. Улучшение экологических показателей носит характер поиска компромисса, так как между топливной экономичностью и выбросами ВВ существует прямая корреляционная связь: лучшей топливной экономичности соответствует более высокий уровень выбросов оксидов азота; любое воздействие на рабочий процесс дизеля, имеющее своим следствием повышение топливной экономичности, как правило, приводит к росту выбросов оксидов азота и наоборот.

Но вместе с ростом выброса оксидов азота снижается выброс сажи. Поэтому при поиске оптимальных конструкторско-технологических решений нужно оценивать токсичность дизеля интегральным показателем, учитывающим всю гамму выбросов и их негативных воздействий на человека и окружающую среду.

Основные пути создания экологически чистого дизеля [12]:

• очистка выхлопных газов с использованием керамических фильтров;

• обеспечение малотоксичного рабочего процесса за счет изменения геометрии камеры сгорания и других конструктивных решений, внедрение многотопливного процесса (водо-топливные эмульсии, газо-конденсатные смеси и др.);

• изменение момента впрыска топлива в зависимости от режима нагрузки путем управления топливным насосом высокого давления микропроцессором по сигналам соответствующих датчиков;

• применение альтернативных видов топлива;

• рециркуляция выхлопа ОГ в зависимости от режима нагрузки.

Одним из направлений модернизации дизельных двигателей с целью снижения вредных выбросов $NO_x$ является конвертация их в малотоксичные модификации, предназначенные для работы на альтернативных топливах, наиболее перспективным из которых является сжиженный природный газ метан (СПГ). Создание двигателей двойного топлива (газодизелей) или газовых двигателей на конструктивной базе дизелей уже сейчас активно и успешно осваивается промышленностью.

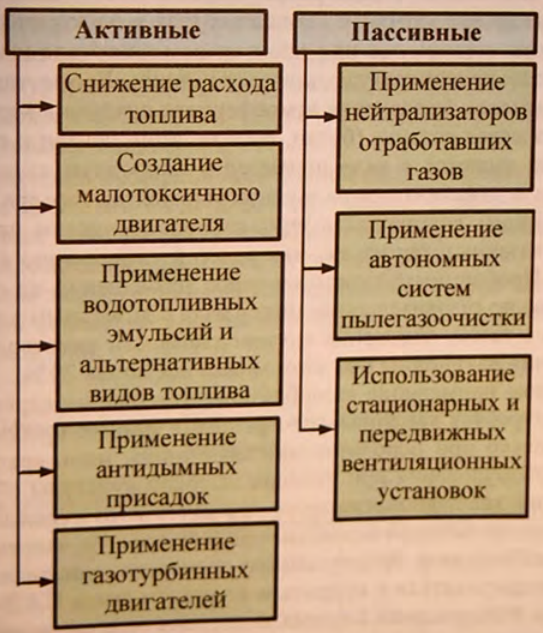



**Рис. 9.9. Способы снижения содержания вредных веществ в отработавших газах.**

В дизельных двигателях возможна лишь частичная замена дизельного топлива на сжиженный газ. Обычно используют следующие соотношения в смеси: при частичном дросселировании – 70 % сжиженного газа и 30 % дизтоплива, при полном дросселировании – 25 % СПГ и 75 % дизтоплива. Установка модифицированного газового двигателя на крупные транспортные средства вполне доступна и обходится значительно дешевле, чем покупка нового двигателя той же мощности. При использовании СПГ снижается технический КПД двигателя (из-за меньшей степени сжатия смеси), но зато увеличивается механический КПД вследствие уменьшения сил трения.

Хотя преимущества СПГ в качестве моторного топлива для дизелей очевидны и признаны всеми специалистами (существенное улучшение экологической обстановки в зоне эксплуатации техники и экономия на дизтопливе, СПГ почти в два раза дешевле его), практическая реализация перевода тяжелой транспортной техники в промышленности на использование СПГ идет крайне медленно.

Основная причина – повышение пожаро- и взрывоопасности газообразного топлива. Незначительные утечки топлива на таких машинах могут привести к серьезным последствиям. По этим причинам на самосвалах с электротрансмиссией возникает опасность взрыва вследствие утечки и скопления газа в электрических шкафах и других местах, где при работающем двигателе имеет место искрение электроаппаратуры и электромашин. Кроме того, возникает вероятность загрязнения атмосферного воздуха в карьере продуктами тяжелее воздуха (бутан, пропан, этан, пентан и пр.), которые всегда имеются в виде примесей в природных газах и будут перетекать и скапливаться на нижних горизонтах карьера. Решение этой проблемы возможно за счет глубокой очистки природного газа от указанных примесей, что ведет к повышению стоимости топлива. Проблемным является вопрос размещения на самосвале для работы по газодизельному циклу бака с дизельным топливом и баллонов с газом. Снижение грузоподъемности самосвала за счет уменьшения платформы при этом может достигать 20 %.

В целом применение газообразного топлива на карьерных самосвалах требует кардинального решения многих проблем и возможно только при использовании надежного, многократно испытанного оборудования при условии высокой культуры обслуживания машин квалифицированным персоналом со строжайшим соблюдением требований безопасности. В частности, запрещено проведение на машинах предпускового подогрева двигателя с применением подогревателя с открытым пламенем (типа ПЖД-600). Необходима стационарная система подогрева горячей водой или горячим воздухом, которая, как показывает опыт, недостаточно эффективна. Запрещено проведение на самосвале огневых работ

(сварка, резка, пайка металла) при установленных газовых баллонах. Все особенности обслуживания и ремонта газобаллонных машин значительно усложняют и удорожают их эксплуатацию, поэтому даже опытные работы по применению газообразного топлива на карьерных самосвалах следует проводить только после тщательной всесторонней экономической и экологической оценки целесообразности таких мероприятий. Экономика говорит в пользу применения сжиженного природного газа (табл. 9.5).

В настоящее время, в связи с высвобождением мощностей многих предприятий оборонного профиля, наличием у них готовых разработок с использованием высоких технологий имеет смысл исследовать вопрос возможности применения ГТД, устанавливаемых на современных танках, на карьерных автосамосвалах. Например, ОАО «Калужский двигатель» серийно выпускает транспортный газотурбинный двигатель ГТД-1250 мощностью 920 кВт (1250 л.с.) по заказу Министерства обороны РФ.

Использование транспортного газотурбинного двигателя ГТД-1250 и механической коробки передач на карьерных автосамосвалах БелАЗ грузоподъемностью 100…130 т позволит получить значительный экономический эффект за счет:

- снижения массы ГТД и его систем (двигатель, воздухоочиститель, система охлаждения двигателя, стартер, генератор, пусковая аппаратура, компрессор и др.) более чем в 4 раза;
- возможность быстрого запуска при любых температурах без предварительного подогрева;
- увеличения коэффициента технической готовности благодаря пусковым качествам ГТД (время подготовки к движению при отрицательных температурах окружающего воздуха меньше в 7–10 раз) и, следовательно, повышения производительности.

Уровень загрязнения окружающей среды карьера выхлопными газами при эксплуатации автосамосвалов с ГТД значительно снижается (табл. 9.6).

*Таблица 9.5*

**Сравнение энергетических характеристик различных энергоисточников**

| № п/п | Показатели применения топлива | Вид топлива | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Диз. топливо | Уголь | Природный газ | СПГ |
| 1 | Низшая теплота сгорания, Ккал/кг | 10180 | 4500 | 11400 | 11500 |
| 2 | Стоимость доставки, руб | 5572 | 1300 | 1035 | 1938 |
| 3 | Стоимость производства 1 Гкал, руб | 637 | 431 | 98 | 183 |

*Таблица 9.6*

**Сравнение выбросов в ОГ дизеля и газотурбинного двигателей, г/кВт · ч (г/л. с. · ч)**

| Параметры эмиссии | Дизельный двигатель | Газотурбинный двигатель мощностью 1250 л. с. |
|---|---|---|
| Оксид углерода (CO) | 9.5 (7.0) | 0.101–0.826* (0.074–0.6) |
| Углеводороды (CH) | 3.4 (2.5) | 0.124–1.02 (0.091–0.75) |
| Оксид азота ($NO_x$) | 18.35 (13.5) | 1.59–4.24 (1.17–3.11) |

Однако при комплексном экологическом рассмотрении эксплуатации автосамосвала обычно не учитываются картерные газы, протекание масел через неплотные соединения, загрязнение почвы и воды смазочными материалами, продуктами истирания шин, загрязнение промплощадок горюче-смазочными материалами при заправке автомобилей, выполнении их технического обслуживания и ремонта, пылью, образующейся от выветривания мелких частиц из транспортируемого груза, истирания узлов автосамосвала (в первую очередь, шин) и дороги, шума, не учитываются также электромагнитные и электростатические излучения. Это особенно касается большегрузных автосамосвалов с электромеханической трансмиссией. Кроме того, серьезной экологической проблемой является проблема утилизации списанных автошин, крупногабаритных кузовов и других металлоконструкций. Происходит захламление больших территорий, отрицательно сказывающееся на экологии окружающей среды.

Известно, что любая, даже самая совершенная конструкция автосамосвала, не дает желаемого эффекта в эксплуатации, если не будет работать с оптимальным типоразмером экскаватора или ковшового погрузчика. Методика определения оптимального типа экскаваторно-автомобильного комплекса для условий конкретного карьера, разработанная проф. А. А. Кулешовым в 1990-х годах, наиболее проста в применении, многократно апробирована и давно используется проектировщиками и эксплуатационниками. Эта методика однако требует совершенствования, так как в новых рыночных условиях используются и новые критерии эффективности техники.

На кафедре горных транспортных машин СПГГИ (ТУ) разработана экономико-математическая модель выбора оптимального типа погрузочно-транспортного комплекса, основное отличие которой от известных – учет экологического фактора. Экология – самое слабое место карьерного автотранспорта. Огромное количество вредных выбросов в атмосферу от сжигания в дизелях топлива (ежегодно в странах СНГ многотысячным парком автосамосвалов

БелАЗ в 17250 ед. сжигается примерно 2.1 млн т дизтоплива) приводит к резкому ухудшению экологической ситуации в зонах ведения горных работ. Кроме того, в последние годы резко возросли штрафные санкции к предприятиям за загрязнение окружающей среды. Поэтому все фирмы-изготовители карьерных самосвалов стремятся сделать их более топливоэкономичными и, следовательно, более экологичными.

В этом отношении большую положительную роль играют системы диспетчеризации ГТК, в которых предусмотрен учет расхода топлива самосвала.

В предложенной модели выбор оптимальной транспортной системы производится по минимуму удельных приведенных затрат с учетом экологического фактора. Алгоритм и структура экономико-математической модели построены по модульному принципу, что позволяет без существенных изменений ввести в нее блоки расчета других видов работ и других видов транспорта. Модульный принцип позволяет также легко преобразовать модель для комбинированных схем транспорта. Расчеты экологических характеристик (рис. 9.10) позволяют в качестве эталонных показателей сравнивать объемы загрязнений, выбирать наиболее экологичный вариант при использовании различных моделей самосвалов и выполнять исследования по выявлению пути снижения вредных воздействий. При системном подходе к оценке экологических характеристик автомобиля учитываются и анализируются, во-первых, все виды и источники загрязнений окружающей среды при эксплуатации автомобиля (рис. 9.11); во-вторых, определяется доля каждого из этих видов и источников загрязнений в общем отрицательном воздействии на окружающую среду; в-третьих, автомобиль рассматривается как сложная динамическая система, характеристики которой, в том числе и экологические, изменяются во времени по мере расходования ресурса. Полная экологическая характеристика автомобиля [14] непременно включает в себя и санитарно-гигиенические характеристики, определяющие собой вредное воздействие на человека шумов, вибрации, проникающих в кабину газов, пыли, а также электростатических и электромагнитных излучений.

Таким образом, следует различать комплексную экологическую характеристику нового автомобиля

$$ЭХ_к = f(K_1, K_2, \ldots K_i),$$

где $K_1$, $K_2$, ... $K_i$ – значения конструктивно-технологических параметров отдельных подсистем и узлов автомобиля, и экологическую характеристику автомобиля в процессе эксплуатации

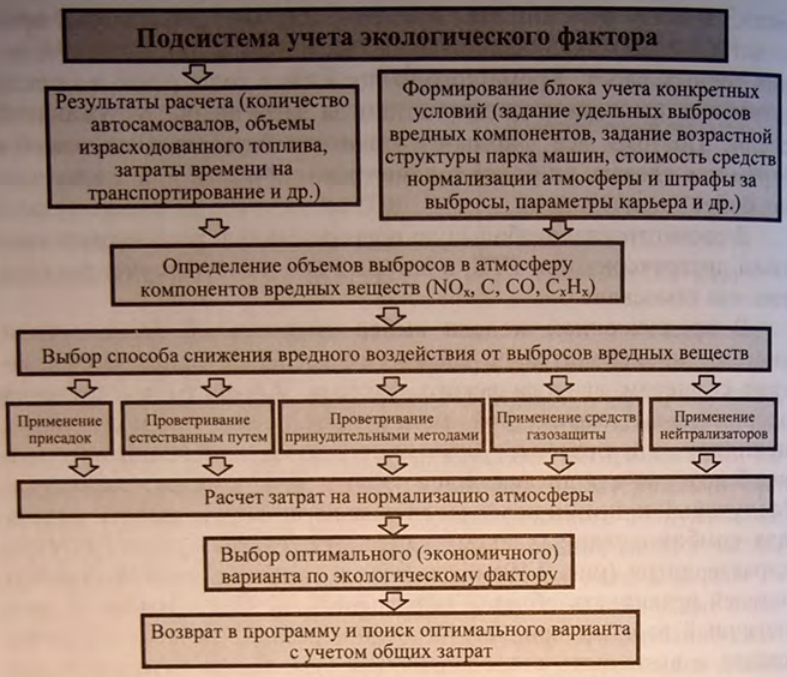



**Рис. 9.10. Подсистема учета вредных выбросов в ОГ.**




**Рис. 9.11. Виды и источники вредных выбросов при работе автосамосвала.**

$$ЭХ_э = f(K_1', K_2', ... K_i'),$$

где $K_1'$, $K_2'$, ... $K_i'$ – значения конструктивно-технологических параметров автомобиля в зависимости от израсходованного ресурса и условий эксплуатации.

Для отслеживания изменений в экологической характеристике автомобиля в процессе эксплуатации предложен нормативно-технический документ - экологический паспорт карьерного самосвала (ЭКПА), содержащий сведения по используемым в процессе эксплуатации автомобиля ресурсам (природным, вторичным и др.), а также сведения, необходимые для определения влияния его эксплуатации на окружающую среду по годам, после технического обслуживания и капитального ремонта [13].

Основу паспорта составляют нормативные показатели, установленные ГОСТ и ОСТ и другими нормативными документами, показатели заводов-изготовителей (официальные справочные данные), результаты расчетов предельно допустимых выбросов (ПДВ), нормы предельно допустимых концентраций и условий (ПДК и ПДУ), а также данные государственной статистической отчетности, другой нормативной и технической документации. Структура паспорта приведена (рис. 9.12).

Паспорт заполняется на заводе-изготовителе и прикладывается к технической документации на самосвал. Подписывается главным инженером и согласовывается с территориальным комитетом по охране природы.

В реализации задач, решаемых ЭПКА, использован опыт ведущих стран мира – США, Германии и других, экологическая стратегия которых заключается не в борьбе с загрязнениями, а с их негативным воздействием на окружающую среду, и полагающих, что экономические методы эффективнее административных. За количественную оценку ущерба от разных по своей природе воздействий (вредных газов, отходов, излучений и др.) принят экономический критерий – плата за риск превышения объемов загрязнений предельного уровня.

Наличие ЭПКА позволяет решать следующие задачи:

- определять перечень природных ресурсов, используемых при эксплуатации автосамосвалов;
- определять перечень и количество ПДВ, полученных на основе расчетов по нормам ПДК и ПДУ, других нормативных документов;
- определять количество вредных веществ и воздействий, превышающих нормативные значения ПДК, выраженных через систему показателей, производить количественную оценку объемов вредных веществ и их воздействия на окружающую среду (ОС);

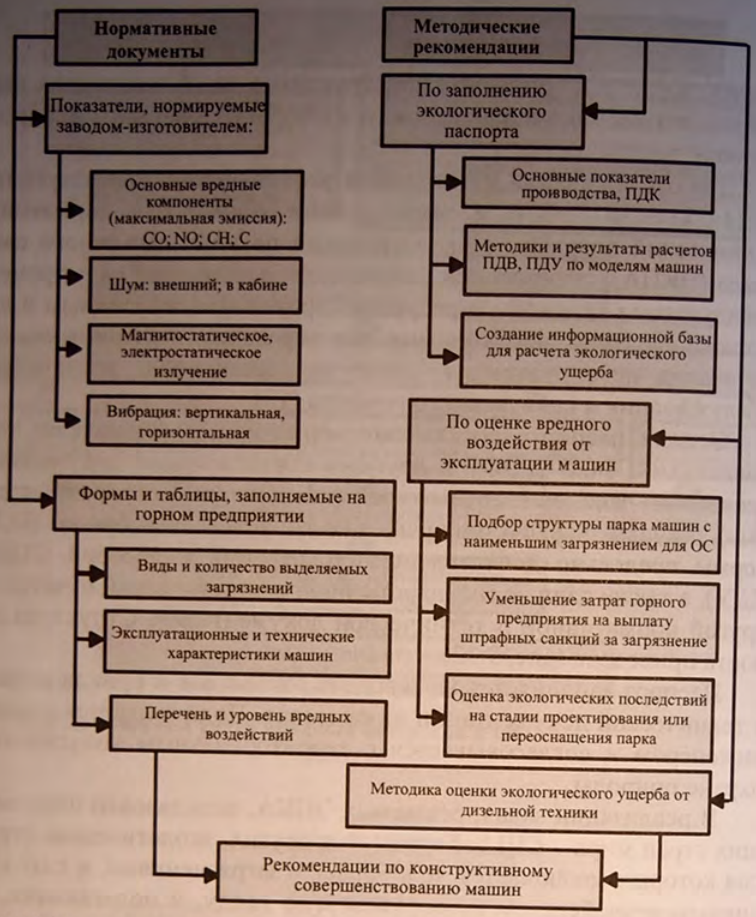



**Рис. 9.12. Структура экологического паспорта карьерного автосамосвала.**

• количественно оценивать экологическое состояние автосамосвала в целом и по отдельным видам воздействий и далее формировать структуру парка с меньшим загрязнением ОС.

По нашему мнению, необходимо разработать систему ЭПКА для всех видов горнотранспортной дизельной техники горнодобывающих предприятий с открытым и подземным способом разработки. Наличие такого документа в автотранспортных хозяйствах шахт, рудников, разрезов, карьеров позволит более обоснованно сравнивать нормативное количество и структурный состав выделяемых вредных веществ на предприятии с фактическими, подбирать структуру парка с меньшим загрязнением окружающей среды и за счет этого уменьшить затраты на выплату штрафных санкций, а заводам – изготовителям совершенствовать конструкцию отдельных узлов машин.

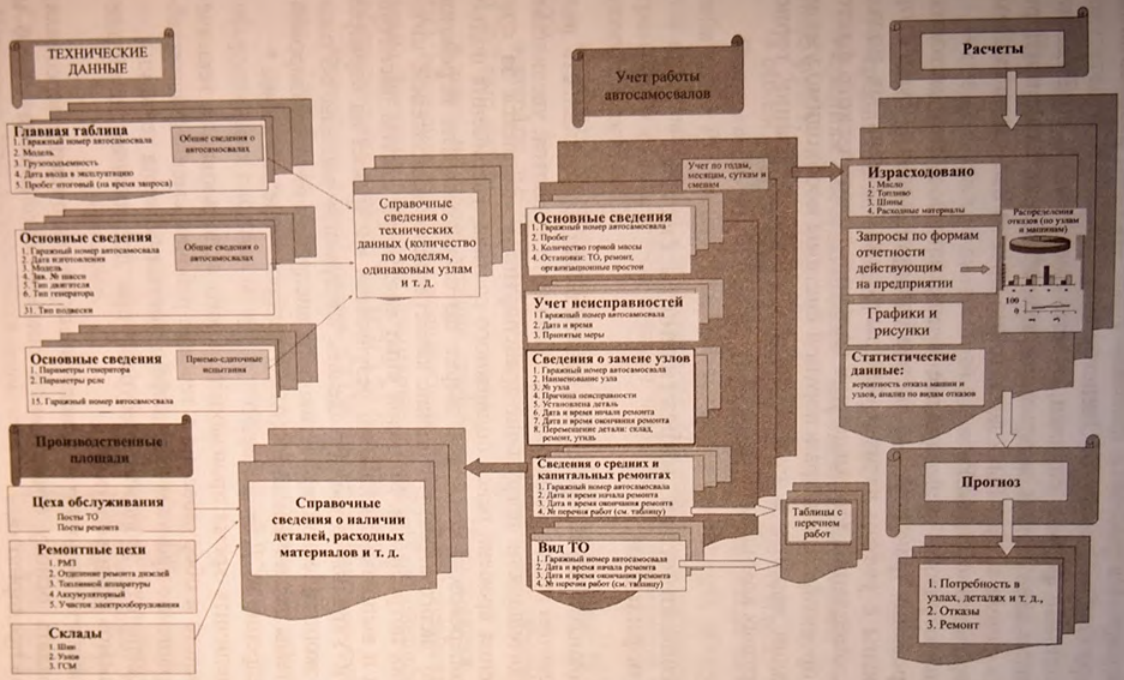



**Рис. 9.13. Система мониторинга работы карьерных автосамосвалов.**

В связи с применением в последнее время на самосвалах бортовых компьютеров учет и контроль их работы стало возможным осуществлять с применением персональных компьютеров технических служб карьера. На рис. 9.13 показана такая система, разработанная на примере ОАО «Олкон» (б. Оленегорский ГОК).

Выводимые формы, справки, отчеты имеют вид и содержание, соответствующие виду и содержанию применяющихся на предприятии. Эта форма может быть достаточно просто введена в систему диспетчеризации «КАРЬЕР»

Таким образом, применяемые в настоящее время методики проектирования транспортных систем карьеров должны быть скорректированы с учетом изложенных выше концептуальных подходов и рекомендаций, учитывающих влияние экологического фактора. При проектировании транспортной системы необходимо уже на этой стадии вводить в проект систему диспетчеризации горно-транспортных комплексов.

## 9.3. Экономическая эффективность систем диспетчеризации

Основными параметрами, определяющими эффективность внедрения систем диспетчеризации на транспорте являются: увеличение производительности погрузочно-транспортного комплекса за счет уменьшения времени рейса подвижного состава, увеличения подъема грузоперевозок, снижение затрат по себестоимости перевозок особенно энергозатрат, улучшение качественных показателей, интересующих потребителя. Мировой опыт внедрения систем диспетчеризации и выполненный анализ результатов внедрения на карьерах России и Украины позволяет сделать следующие выводы об ожидаемой экономической эффективности внедрения автоматизированной системы диспетчеризации (АСД) на горных предприятиях.

Внедрение АСД позволяет:

- увеличить время производительного использования технических средств и оборудования в течение рабочей смены (значительное сокращение простоев и нецелевого использования техники);
- обеспечить экономию ресурсов при достижении необходимых объемов производства;
- повысить трудовую и технологическую дисциплину персонала;
- создать основу объективной оценки деятельности служб и участков предприятия;
- создать условия для планомерного ремонта и обслуживания парка машин предприятия;
- снизить расход топлива (ГСМ);

• повысить производительность парка автосамосвалов и локомотивов.

Для примера приведен расчет экономического эффекта для Стойленского ГОКа для минимальных (гарантированных) значений показателей эффективности и на основе экспертного мнения (табл. 9.7).

При расчетах принимались исходные данные, характерные для Стойленского ГОКа:

• средний расход дизтоплива по автосамосвалам – 7.5 л/км;

• средний пробег за смену (по данным на 2005 г.) – 90 км;

• количество рабочих смен в сутки – 3;

• средняя цена топлива – 14.1* руб/л.;

• средняя себестоимость перевезенной горной массы – 10.95 руб/т;

• объем перевезенной горной массы за год – 40 млн т.

Внедряемая АСД горно-транспортных комплексов включает в себя: ДЦ + РЦ (диспетчерский центр и радиоцентр), оборудование для автосамосвалов и экскаваторов. Стоимости оборудования (программного обеспечения) и работ взяты из спецификаций технического проекта АСД:

• затраты на приобретение оборудования системы: 19 841 тыс. руб.;

• затраты на приобретение программного обеспечения (ПО): 4 767 тыс. руб.;

• всего на приобретение, шеф-монтаж оборудования, наладку ПО, обучение и работы исполнителя по вводу и эксплуатацию системы Заказчик затратит (суммарная стоимость по спецификациям оборудования и работ без НДС) 24 608.6 тыс. руб.;

• зарплата специалистов СГОК по обслуживанию системы, в год – 3407.2 тыс. руб.;

• срок амортизации системы – 7 лет (условный срок работы оборудования системы до его полной замены).

*Таблица 9.7*

**Показатели эффективности АСД**

| Показатель | Гарантированное значение | Экспертное мнение |
|---|---|---|
| Снижение расхода ГСМ, % | 3 | 10 |
| Повышение производительности самосвалов, % | 5 | 12 |

* В связи с повышением цены на дизтопливо в 2006 г. до 16.2 руб./л эффект от экономии топлива возрастет.

Ниже приведены результаты более подробного расчета эффективности АСД.

Годовая амортизация оборудования вычисляется по первому году: это доля первоначальной стоимости, полученная умножением первоначальной стоимости на коэффициент, равный отношению количества месяцев в году (12) к количеству месяцев амортизации (в данном случае взято пять лет плюс 1 месяц шестого года, имея в виду возможный остаток от первоначальной стоимости).

Ежегодная постоянная сума амортизации в течение пяти лет составляет 3900 тыс. руб.; на шестой год приходится остаток 325 тыс. руб.

Аналогично вычисляется амортизация программного обеспечения (ПО). Однако, в отличие от амортизации оборудования, считаем, что амортизация ПО происходит почти полностью за первый год, т.е. тогда, когда производится оплата поставляемого ПО и его адаптация. На следующий год остается 367 тыс. руб.

Остаточная стоимость в каждом году – это разность доли первоначальной стоимости в данном году и амортизации за тот же год.

Среднегодовая стоимость вычисляется как среднеарифметическое первоначальной и остаточной стоимостей.

Налог на имущество составляет 2.2 % от среднегодовой стоимости.

*Примечание.* Когда срок амортизации оборудования заканчивается, выплата налога на имущество прекращается после 6 лет эксплуатации системы.

Затраты на содержание системы по годам эксплуатации составляют (тыс. руб.):

| 1-й год | 2-й год | 3-й год | 4-й год | 5-й год | 6-й год | 7-й год |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 13104 | 8933 | 8476 | 9098 | 9012 | 5388 | 5059 |

Стоимость материалов и запчастей учитывается, начиная с четвертого года, так как считаем, что на первые 3 года будет достаточно ЗИП, входящего в комплект поставки оборудования. Годовая стоимость (в тыс. руб.) материалов и запчастей может быть приблизительно определена делением стоимости ЗИП на эти 3 года.

Экономия топлива по годам и с нарастающим итогом по годам (тыс. руб.):

| 1-й год | 2-й год | 3-й год | 4-й год | 5-й год | 6-й год | 7-й год |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9251 | 9251 | 9251 | 9251 | 9251 | 9251 | 9251 |
| 9251 | 18502 | 27763 | 37004 | 46256 | 55506 | 64757 |

Начиная со второго года эксплуатации, годовая экономия топлива в денежном эквиваленте будет окупать (с избытком) годовые затраты на содержание системы.

За 7 лет эксплуатации только стоимость сэкономленного топлива примерно в 2 раза превысит затраты на внедрение системы.

При этом считаем, что несанкционированный слив топлива отсутствовал до внедрения системы, и поэтому не учитываем экономию на предотвращение слива. Экономия топлива является следствием более эффективного использования транспортных средств после внедрения системы.

Прирост чистой прибыли при использовании системы приведен в табл. 9.8.

Прирост прибыли до налогообложения рассчитывается как сумма прибылей от экономии топлива и от повышения производительности оборудования минус затраты на содержание системы.

*Таблица 9.8*

**Прирост чистой прибыли от внедрения системы**

| № | Наименование | 1-й год | 2-й год | 3-й год | 4-й год | 5-й год | 6-й год | 7-й год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Гарантированный | | | | | | | |
| 1 | Затраты на содержание системы | 13104.0 | 8933.0 | 8476.0 | 9098.5 | 9012.5 | 5388.5 | 5059.5 |
| 2 | Экономия топлива | 9251.0 | 9251.0 | 9251.0 | 9251.0 | 9251.0 | 9251.0 | 9251.0 |
| 3 | Эффект от повышения производительности | 4400.0 | 4400.0 | 4400.0 | 4400.0 | 4400.0 | 4400.0 | 4400.0 |
| 4 | Прирост прибыли до налогообложения | 547.0 | 4718.0 | 5175.0 | 4552.5 | 4638.5 | 8262.5 | 8591.5 |
| 5 | Налог на прибыль | 131.3 | 1132.3 | 1242.0 | 1092.6 | 1113.2 | 1983.0 | 2062.0 |
| 6 | Прирост чистой прибыли | 415.7 | 3585.7 | 3933.0 | 3459.9 | 3525.3 | 6279.5 | 6529.5 |
| | Экспертное мнение | | | | | | | |
| 1 | Затраты на содержание системы | 13104.0 | 8933.0 | 8476.0 | 9098.0 | 9012.5 | 5388.5 | 5059.5 |
| 2 | Экономия топлива | 30836.7 | 30836.7 | 30836.7 | 30836.7 | 30836.7 | 30836.7 | 30836.7 |
| 3 | Эффект от повышения производительности | 10560.0 | 10560.0 | 10560.0 | 10560.0 | 10560.0 | 10560.0 | 10560.0 |
| 4 | Прирост прибыли до налогообложения | 28292.7 | 32463.7 | 32920.7 | 32298.2 | 32384.2 | 36008.2 | 36337.2 |
| 5 | Налог на прибыль | 6790.2 | 7791.3 | 7901.0 | 7751.6 | 7772.2 | 8642.0 | 8720.9 |
| 6 | Прирост чистой прибыли | 21502.5 | 24672.4 | 25019.7 | 24546.6 | 24612.0 | 27366.2 | 27616.3 |

Налог на прибыль взимается из расчета 25 % от прироста прибыли. Прирост чистой прибыли есть разность прироста прибыли до налогообложения и самой суммы налога на прибыль. Экономия на приобретении автосамосвалов приведена в табл. 9.9.

Экономия капитала на приобретении автосамосвалов получена произведением средней стоимости приобретения автосамосвала на число высвобождающихся расчетных единиц.

Итоговые результаты расчета эффективности системы приведены в табл. 9.10.

Выполненные расчеты рассмотренных вариантов дают положительные результаты. Чистые дисконтированные денежные потоки (ЧДДП) достаточно велики. Внутренние нормы доходности (ВНД) достаточно высоки и значительно превышают значение требуемой нормы прибыли. Дисконтированные сроки окупаемости значительно ниже половины срока службы оборудования.

Окончательно считаем, что затраты на внедрение системы гарантированно окупятся через 10 месяцев после ввода ее в промышленную эксплуатацию.

Для оценки экономической эффективности внедрения системы «КАРЬЕР» в условиях угольного разреза «Черниговский» были использованы данные по увеличению производительности автосамосвалов как следствие оперативного управления и контроля за работой транспортного оборудования, экономии горюче-смазочных

*Таблица 9.9*

**Экономия на приобретении автосамосвалов при внедрении системы**

| № п/п | Наименование | Ед. изм. | Гарантированная | Экспертное мнение |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Повышение производительности автосамосвалов | % | 5 | 12 |
| 2 | Инвентарный парк автосамосвалов до повышения производительности | ед. | 33 | 33 |
| | -БелАЗ-75131 (130 т) | ед. | 21 | 21 |
| | -БелАЗ-7555В (55 т) | ед. | 12 | 12 |
| 3 | Рабочий парк автосамосвалов после повышения производительности | ед. | 31.35 | 29.04 |
| 4 | Сокращение инвентарного парка | ед. | 1.65 | 3.96 |
| 5 | Средняя стоимость приобретения автосамосвала | тыс. руб. | 14 717.9 | 14 717.9 |
| | -БелАЗ-75131 (130 т) | тыс. руб. | 19 382.6 | 19 382.6 |
| | -БелАЗ-7555В (55 т) | тыс. руб. | 6 554.7 | 6 554.7 |
| 6 | Экономия на приобретении автосамосвалов | тыс. руб. | 24 284.6 | 58 283.0 |

*Таблица 9.10*

**Расчетная эффективность внедрения системы АСД**

| № п/п | Наименование показателя | Ед.изм. | Вариант с гарантированным эффектом | Вариант согласно экспертному мнению |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Объем инвестиций Заказчика (без НДС) | тыс. руб. | 24 608.6 | |
| 2 | Период оценки | лет | 7 | |
| 3 | Экономия топлива | тыс. руб. в год | 9 251.0 | 30 836.7 |
| 4 | Эффект от повышения производительности | тыс. руб. в год | 4 400.0 | 10 560.0 |
| 5 | Экономия на приобретении автосамосвалов (без НДС) | тыс. руб. | 24 284.6 | 58 283.0 |
| 6 | Средневзвешенная стоимость | % | 15.4 | |
| 7 | Чистый денежный дисконтированный поток (ЧДДП) | тыс. руб | 29 106.3 | 145 353.4 |
| 8 | Внутренняя норма доходности (ВНД) | % | 91.8 | 543.1 |
| 9 | Дисконтированный срок окупаемости после ввода мощностей | мес. (лет) | 10 мес после ввода | 4 мес после ввода |

материалов и так называемой «незаработанной платы» как результат приписки количества рейсов в путевых листах.

Расчеты экономической эффективности показали, что за счет роста производительности автосамосвалов на 4.5 % (в сопоставимых с 2001 г. условиях) за первые три квартала 2002 г. получено дополнительной товарной продукции на сумму 56.2 млн руб., в том числе составляющая прибыли достигла 7.5 млн руб.

При этом условная экономия по фонду заработной платы в результате исключения приписок в размере 5–6 % от количества рейсов в путевых листах составила 0.741 млн руб., а от экономии горюче-смазочных материалов за счет несанкционированного слива и неполной заправки достигла 0.867 млн руб.

Таким образом, общая экономия от внедрения системы на разрезе «Черниговский» за первые три квартала 2002 г. составила 9.1 млн руб., а в пересчете на весь год оценивается в сумме 12.15 млн руб. [8].

Конструктивное совершенствование систем диспетчеризации ГТК и приобретение опыта эксплуатации, безусловно, еще более повысит их эффективность в ближайшее время.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дальнейшее эффективное развитие открытых и подземных горных работ в значительной степени зависит не только от применения новых для горной промышленности разнообразных видов горного и транспортного оборудования, но и от ускоренной разработки и широкого внедрения на карьерах, разрезах, подземных рудниках и шахтах современных автоматизированных систем управления горно-транспортными комплексами с использованием спутниковой навигации.

Изложенные в представленной монографии материалы представляют собой первую попытку анализа и систематизации идеологических разработок по созданию систем диспетчеризации и автоматизации управления горно-транспортными комплексами и опыта их эксплуатации на открытых и подземных горных работах с использованием автотранспорта, железнодорожного транспорта и самоходного оборудования. Дан анализ этих современных систем отечественного и зарубежного производства и изложены научно-технические принципы их создания с использованием спутниковой навигации (GPS), а также структура, элементная база и организация работ по реализации систем на горных предприятиях.

Специалисты наверняка обратят внимание на то, что в данной монографии наиболее детально описана только одна система – «КАРЬЕР». Это объясняется тем, что данная разработка находит наиболее широкое применение на современном этапе – 8 крупных угольных разрезах и 9 ведущих предприятий России по объему производства рудного сырья, 7 крупных железорудных предприятий Украины, 3 карьера Казахстана, одного карьера Монголии и др.

# ЛИТЕРАТУРА


1. *Алипбергенов Ж. К., Калиев С. А., Шайхин А. Ж., Сагденов А. К.* Нормативно-гигиенические аспекты эксплуатации современных самоходных горных машин в подземных рудниках // Горный журнал. 2002. № 5.

2. *Андреева Л. И.* Ремонтное производство горно-добывающего предприятия: технология, организация, экономика. Проблемы и решения (обзор материалов координационного совещания) // Горное оборудование и электромеханика. 2006. № 4.

3. *Астафьев Ю. П., Полещук Г. К., Горлов Н. И.* Планирование и организация погрузочно-транспортных работ на карьерах. М.: Недра, 1998.

4. *Баранов Ю. Д., Зберовский А. В., Клебанов А. Ф.* Перспективы применения геоинформационных систем и технологий для ведения горно-транспортных работ на карьерах // Материалы VI национальной конференции с международным участием по открытой добыче полезных ископаемых. Нессебр (Болгария), 2002. с. 311–317

5. *Барилюк А. И., Ананин А. И., Орт В. Г., Мусурманкулов С. А.* Опыт использования самоходных погрузочных машин на Орловском руднике // Горный журнал. 2003. № 1.

6. *Владимиров Д. Я., Клебанов А. Ф.* Система уравления горно-транспортным комплексом «КАРЬЕР»: основные направления модернизации и развития // Горное оборудование и электромеханика. 2006. № 8.

7. *Владимиров Д. Я., Клебанов А. Ф., Кудин С. Н.* Современный этап освоения информационных компьютерных технологий для автосамосвалов БелАЗ // Горная промышленность: Специальный выпуск. 2004. С. 24–28.

8. *Владимиров Д. Я., Клебанов А. Ф., Перепелицын А. И.* Система диспетчеризации «КАРЬЕР»: От мониторинга большегрузных автосамосвалов к управлению горно-транспортным комплексом и оптимизации горных работ в карьере // Горная промышленность. 2004. № 4. С. 34–39

9. *Зотов А. А., Зырянов И. В., Пацианский С. Ф.* Нормы расхода запасы частей автосамосвалов грузоподъемностью 120–136 т в условиях АК «АЛРОСА» // Горный журнал. 2000. № 2.

10. *Жуков Г. И.* Опыт создания и эксплуатации газоочистительной аппаратуры на подземном горном оборудовании и карьерном автотранспорта // Горный журнал. 2002. № 5.

11. *Клебанов А. Ф., Владимиров Д. Я., Рыбак Л. В.* Система диспетчеризации большегрузных автосамосвалов «КАРЬЕР» на разрезе «Черниговский»: Структура, функциональность, экономическая эффективность // Горная промышленность. 2003. №1. С. 52–56.

12. *Клебанов А. Ф., Бондаренко А. В., Рыбак Л. В.* Разработка информационной компьютерной системы управления эксплуатационными затратами на карьерные автосамосвалы в режиме реального времени // Горный информационно-аналитический бюллетень. М., 2003. № 3. С.142–145

13. *Клебанов А. Ф., Рыльников А. Г.* Формирование заданного качества рудопотока посредством автоматизированной системы диспетчеризации горного транспорта // Материалы международной научно-технической конференции «Комбинированная геотехнология: развитие способов добычи и безопасности горных работ». Магнитогорск, 2003. С. 81–83.

14. *Кулешов А. А., Григорьев Е. А.* Прогнозирование ресурса элементов погрузочно-доставочных машин на основе определения их эксплуатационной нагруженности // Записки СПГГИ. Т. 152. СПб. 2002. С. 169–172.

15. *Кулешов А. А.* Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров. М.: Недра, 1980.

16. *Кулешов А. А.* Экологические проблемы эксплуатации дизельной техники на карьерах и пути их решения // Горный журнал. 1994. №1.

17. *Кулешов А. А., Новиков Л. А.* Основные направления создания малотоксичных дизелей для горнотранспортной техники // Горный журнал. 2002. № 11–12.

18. *Кулешов А. А., Коптев В. Ю.* Принципы разработки экологического паспорта самосвала // Межвузовский тематический сборник трудов СПбАСУ. 1995. С. 27–32.

19. *Кулешов А. А., Коптев В. Ю.* Оценка экологических характеристик карьерных автосамосвалов // Сб. трудов МАНЭБ. Экологизация автомобильного транспорта. 2004.

20. *Мариев П. Л., Кулешов А. А., Егоров А. Н., Зырянов И. В.* Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы. СПб., Наука, 2004.

21. *Пивнев В. А., Герман А. Г., Венц А. С.* Опыт эксплуатации спареных электровозов на Объединенном Кировком руднике ОАО «Апатит» // Горное оборудование и электромеханика. 2006. № 3.

22. *Пивнев В. А., Герман А. Г., Леонтьев В. М., Чернигов В. М.* Промышленные испытания электровозов с асинхроным приводом

на Объединеном Кировском руднике ОАО «Апатит» // Горное оборудование и электромеханика. 2006. № 3.

23. *Потапов В. П., Рыбак Л. В., Клебанов А. Ф.* Методология создания интегрированных информационных систем для угольной промышленности (на примере Кузбасса) // Материалы II региональной научно-практической конференции «Информационные недра Кузбасса 2003». 2003. С. 25–33.

24. *Руденко В. А., Клебанов А. Ф.* Опыт применения бортовых контроллеров на карьерных самосвалах БелАЗ // Горная промышленность. 2003. № 6.

25. Самоходный горно-шахтный транспорт на пневмоколесном ходу вчера, сегодня, завтра // library/stroit.ru. Каталог-справочник «Горная техника-2005 г.».

26. Фирма PAUS подземным рудникам // Горная промышленность. 2004. № 3.

27. Шешко О. Е. Сравнение карьерных транспортных комплексов по показателям экологичности // Горные машины и автоматика. 2002. № 1. С. 29–32.

28. *Владимиров Д. Я., Клебанов А. Ф.* Автоматизированные системы управления подъемно-транспортным оборудованием на горнодобывающих и обогатительных предприятиях // КИП и Автоматика: Обслуживание и ремонт. 2006. №4.

29. *Владимиров Д. Я., Клебанов А. Ф.* Программируемые бортовые контроллеры в карьерных автосамосвалах БелАЗ // Горное оборудование и электромеханика. 2006. № 10.

30. Система управления тяговым электроприводом карьерных автосамосвалов (СУТЭП): Текущее состояние и перспективы // Горное оборудование и электромеханика. 2006, №9.

31. *Клебанов А. Ф.* Опыт и перспективы реализации ГИС-проектов в горном деле // Проблемы безопасности и совершенствования горных работ. Пермь, 1999. С. 95–96.

32. *Малышев Ю. Н., Трубецкой К. Н., Клебанов А. Ф.* и др. Проектирование систем экологического мониторинга, горнопромышленных регионов (на примере Кузбасса) // Горный вестник. 1996. № 2 С. 13–20.

33. *Трубецкой К. Н.* Выбор оптимального сочетания моделей погрузочного и транспортного оборудования при проектировнии карьеров с применением ЭВМ // XXII International symposium APCOM, 17–21.09.1990. Berlin, Bundesrepublik Deutschland. 1990 – P. 587–594.

34. *Трубецкой К. Н., Клебанов А. Ф., Владимиров Д. Я.* Геоинформационные системы в горном деле: Электронный журнал // Вестник ОГГГГН РАН. 1998. № 3.

35. *Trubetskoy K. N., Klebanov A., Vladimirov D., Khudin M.* Computer technology for estimation and forecasting of environmental con-

olitions in mining region // XXV FHCJM Meeting 9–14 July, Brisbane (Australia) brisbane, S.p. 1995.

36. *Trubetskoy K. N*, *Iofis M. A.*, *Klebanov A. F.* Forecast of surface deformation in underground mining of coal deposits with the employment of geoinformation system (GIS) technologies // Proceeding of the 10th International congress of the International congress of the International society for mine surveying. S.J., 1997. P. 545–551.

37. *Трубецкой К. Н.*, *Горшков А. Ю.*, *Клебанов А. Ф.*, *Владимиров Д.Я.* Автоматизированная система управления горно-транспортным комплексом на Стойленском ГОКе // Горный журнал. 2007. № 11.

38. *Kovalenko S. K.*, *Sergeeva N. M.*, *Klebanov A. F. Andreyevskaya E. M.*, *Klimachov K. G.* Dispatch and control system for Mobil Equipment Taldinsky Open Cast Mine. Proceeding 27th APCOM. London. UK, 1998. P. 577–586.

39. Открытые горные работы: Справочник / К. Н. Трубецкой, М. Г. Потапов, К. Е. Винницкий и др. М.: Горное бюро, 1994.

40. *Казаков В. А.*, *Клебанов А. Ф.*, *Попов Г. И.* Информационно-диагностическая система для экскаваторов // Горное оборудование и электромеханика. 2007. № 8.

# СОДЕРЖАНИЕ


**ПРЕДИСЛОВИЕ** ..... 3

**1. СТРУКТУРА И СОСТОЯНИЕ ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ (ГТК)** ..... 6

1.1. Структура горно-транспортного комплекса на открытых работах ..... 6

1.1.1. Погрузочные средства ..... 6

1.1.2. Горно-транспортный комплекс с автомобильным транспортом ..... 13

1.2. Структура горно-транспортных комплексов на подземных работах с использованием самоходного оборудования ..... 19

1.2.1. Комплексы с применением самоходного оборудования ..... 19

1.2.2. Комплексы на базе рельсового транспорта ..... 26

**2. АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ** ..... 30

2.1. Виды и структура информационных потоков ..... 30

2.2. Типы систем управления горно-транспортными комплексами ..... 34

2.3. Системы управления горно-транспортными комплексами на первом этапе их развития ..... 35

2.4. Анализ современных систем управления горно-транспортными комплексами ..... 37

2.4.1. Система управления ГТК «КАРЬЕР» компании ООО «ВИСТ Групп» ..... 38

2.4.2. Система компании «Союзтехноком» ..... 43

2.4.3. АСУ ТП для подземных рудников компании «ПРОМТЕХ» ..... 48

2.4.4. Система компании Modular Mining Systems, Inc (Modular) ..... 54

2.4.5. Система диспетчеризации компании «Wenco» ..... 57

2.4.6. Система диспетчеризации компании «Micromine» ..... 61

**3. ФОРМИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ** ..... 68

3.1. Особенности развития открытых горных работ на современном этапе ..... 68
3.2. Назначение и цель создания АСУ горно-транспортного комплекса ..... 70
3.2.1. Цель создания АСУ ГТК ..... 70
3.2.2. Назначение АСУ ГТК ..... 70
3.3. Требования к АСУ ГТК и ее функции ..... 72
3.3.1. Общие требования ..... 72
3.3.2. Функциональные требования к системе ..... 72
3.4. Структура и состав систем управления ГТК ..... 74
3.4.1. Информационные связи в системе ..... 75
3.4.2. Состав оборудования мобильного объекта ..... 76
3.4.3. Коммуникационная подсистема ..... 78
3.4.4. Серверы системы и рабочие станции ..... 78
3.4.5. Программное обеспечение системы ..... 79
3.5. Системы передачи данных, пространственной идентификации и позиционирования объектов ..... 82
3.5.1. Системы передачи данных ..... 82
3.5.2. Новый подход к организации передачи данных в СД «КАРЬЕР». Событийная система ..... 88
3.5.3. Системы идентификации и позиционирования ..... 89
3.5.4. Система видеонаблюдения ..... 91
3.6. Радионавигационный комплекс (радиоцентр) ..... 93
3.6.1. Функции комплекса ..... 93
3.6.2. Алгоритм работы связи в диспетчерской системе ..... 95
3.6.3. Алгоритм работы связи с МТСО ..... 96
3.6.4. Алгоритм работы связи в режиме RTK ..... 97
3.6.5. Регламент радиосвязи системы диспетчеризации горно-транспортного оборудования ..... 97
3.6.6. Структура радиоцентра и состав оборудования ..... 98
3.7. Бортовое оборудование мобильных объектов ..... 99
3.7.1. Выполняемые функции ..... 99
3.7.2. Типовой состав бортового оборудования ..... 100
3.8. Функции прикладного программного обеспечения ..... 107
3.8.1. Базовые функциональные модули и возможности системы ..... 107
3.8.2. Дополнительные функциональные модули и возможности системы ..... 110

**4. ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В КАРЬЕРЕ ..... 117**
4.1. Общие задачи систем управления ..... 117
4.2. Место АСУ ГТК в общей информационной системе горного предприятия ..... 119
4.3. Принципы интеграции АСУ ГТК с системами обслуживания и ремонтов ..... 120
4.4. Интеграция системы управления ГТК с системами геологического моделирования и планирования горных работ ..... 124

4.5. Интеграция бортовых систем карьерных автосамосвалов .....127
4.6. Направления развития функциональности системы «КАРЬЕР» .....134

**5. СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....**
5.1. Цель и задачи мониторинга .....138
5.2. Мониторинг самоходного подземного оборудования (СО).....138
5.3. Мониторинг карьерных автосамосвалов .....139
5.3.1. Задачи мониторинга .....153
5.3.2. Контроль и учет работы карьерных самосвалов на технологической трассе .....153
5.3.3. Контроль технического состояния оборудования, узлов и систем карьерных самосвалов .....153
5.4. Мониторинг карьерных экскаваторов .....156
5.5. Методическое обеспечение использования результатов автоматизированного мониторинга работы погрузочно-транспортных комплексов .....166

**6. ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ НА ОТКРЫТЫХ РАБОТАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОТРАНСПОРТА .....184**
6.1. Опыт внедрения и эксплуатации систем на угольных разрезах .....184
6.1.1. Внедрение системы «КАРЬЕР» в ЗАО «Черниговец» ..184
6.1.2. Опыт эксплуатации системы в ОАО «Южный Кузбасс» .....188
6.1.3. Внедрение системы «КАРЬЕР» в ОАО «СУЭК».....197
6.1.4. Этапы внедрения системы диспетчеризации в ЗАО «ЛуТЭК» .....197
6.2. Опыт внедрения и эксплуатации систем на рудных карьерах .200
6.2.1. Внедрение системы «КАРЬЕР» в ОАО «Стойленский ГОК».....200
6.2.2. Внедрение системы «КАРЬЕР» на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».....207
6.2.3. Внедрение системы «КАРЬЕР» на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».....209
6.2.4. Работа системы «КАРЬЕР» на Качарском руднике (АО «ССГПО», Казахстан).....216
6.2.5. Опыт внедрения системы «КАРЬЕР» в СП «ЭРДЭНЭТ» (Монголия).....220
6.2.6. Внедрение систем других отечественных и зарубежных компаний на российских горных предприятиях .....221
6.3. Организационно-технические мероприятия по эффективному внедрению системы и техническая поддержка в период эксплуатации .....222

**7. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ ..... 226**
7.1. Характеристика объекта управления и его задачи ..... 226
7.2. Система диспетчеризации ЖДТ предприятия ..... 229
7.2.1. Система диспетчеризации локомотивов ..... 232
7.2.2. Система диспетчеризации вагонов ..... 233
7.2.3. Подсистема идентификации вагонов ..... 234
7.3. Система железнодорожной автоматики ..... 238

**8. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ ..... 251**
8.1. Переход от эффективной к адаптивной системе профилактики оборудования ..... 251
8.2. Оптимизация потоков запасных частей к оборудованию ..... 259

**9. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ..... 265**
9.1. Способы повышения технической безопасности ГТК ..... 265
9.2. Повышение уровня экологической безопасности ..... 270
9.2.1. Экологическая безопасность комплексов на подземных работах ..... 271
9.2.2. Экологическая безопасность при эксплуатации пневмоколесных дизельных машин на открытых работах ..... 278
9.3. Экономическая эффективность систем диспетчеризации ..... 292

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ..... 298**

**ЛИТЕРАТУРА ..... 299**

**СОДЕРЖАНИЕ ..... 303**

Научное издание

*Климент Николаевич Трубецкой,*
*Алексей Алексеевич Кулешов,*
*Алексей Феликсович Клебанов,*
*Дмитрий Ярославович Владимиров*

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

Оригинал-макет подготовлен авторами

Редактор издательства *Е. С. Васильева*
Художник *Е. В. Кудина*
Компьютерная верстка *П. Ю. Ланкова*

Лицензия ИД № 02980 от 06 октября 2000 г.
Подписано к печати 29.11.07. Формат 60 × 90 $^1/_{16}$.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 19.5. Уч.-изд. л. 19.3.
Тираж 1000 экз. Тип. зак. № 4488. С 263

Санкт-Петербургская издательская фирма «Наука» РАН
199034, Санкт-Петербург, Менделеевская линия, 1
E-mail: main@nauka. nw.ru
Internet: www.naukaspb.spb.ru

Первая Академическая типография «Наука»
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12

ISBN 978-5-02-025185-4



# АДРЕСА КНИГОТОРГОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ТОРГОВОЙ ФИРМЫ «АКАДЕМКНИГА»

**Магазины «Книга — почтой»**

121009 Москва, Шубинский пер., 6; 241-02-52
197137 Санкт-Петербург, Петрозаводская ул., 7Б;
(код 812) 235-40-64

**Магазины «Академкнига» с указанием отделов «Книга — почтой»**

690088 Владивосток-88, Океанский пр-т, 140 («Книга — почтой»);
(код 4232) 5-27-91
620151 Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 137
(«Книга — почтой»); (код 3432) 55-10-03
664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 298 («Книга — почтой»);
(код 3952) 46-56-20
660049 Красноярск, ул. Сурикова, 45; (код 3912) 27-03-90
220012 Минск, пр-т Независимости, 72;
(код 10-375-17) 292-00-52, 292-46-52, 292-50-43
117312 Москва, ул. Вавилова, 55/7; 124-55-00
117192 Москва, Мичуринский пр-т, 12; 932-74-79
103054 Москва, Цветной бульвар, 21, строение 2; 921-55-96
103624 Москва, Б. Черкасский пер., 4; 298-33-73
630091 Новосибирск, Красный пр-т, 51; (код 3832) 21-15-60
630090 Новосибирск, Морской пр-т, 22 («Книга — почтой»);
(код 3832) 30-09-22
142292 Пущино Московской обл., МКР «В», 1
(«Книга — почтой»); (13) 3-38-60
443022 Самара, пр-т Ленина, 2 («Книга — почтой»);
(код 8462) 37-10-60
191104 Санкт-Петербург, Литейный пр-т, 57;
(код 812) 272-36-65, бук. 273-13-98

197110 Санкт-Петербург, Петрозаводская ул., 7Б;
(код 812) 235-40-64
199034 Санкт-Петербург, Васильевский остров, 9 линия, 16;
(код 812) 323-34-62
634050 Томск, Набережная р. Ушайки, 18; (код 3822) 22-60-36
450059 Уфа-59, ул. Р. Зорге, 10 («Книга — почтой»);
(код 3472) 24-47-74
450025 Уфа, ул. Коммунистическая, 49; (код 3472) 22-91-85