© И.В. Воскресенский, 2007

УДК 622.23.05

И.В. Воскресенский

АНАЛИЗ РАБОТЫ ПОГРУЗОЧНЫХ И РАЗГРУЗОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Современный период развития техники характеризуется разработкой и внедрением сложных технических систем и комплексов.

Под сложностью обычно понимается ***сложенность*** системы из отдельных элементов и процесс их взаимодействия. Взаимодействие элементов и их свойства изменяются во времени. Сложность системы определяется не столько количеством элементов, сколько количеством связей между самими элементами, между системой и средой.

Сложные динамические системы являются существенно нелинейными системами, математическое описание которых на современном этапе не всегда возможно.

В процессе эксплуатации возникает потребность в периодическом обслуживании, цель которого сохранить способность системы выполнять свои функции. На основании информации о поведении системы организуется управление её состоянием, с учетом результатов которого корректируется последующее управление системой.

В предлагаемой работе анализируется поведение сложных систем, к которым относятся погрузочно-разгрузочные комплексы в горной промышленности, и их элементов. На практике реализация полученных результатов приведет к анализу и синтезу структуры комплекса с позиций системного подхода.

Основная задача анализа эксплуатации погрузочно-разгрузочных комплексов состоит в научном прогнозировании его состояний и выработке с помощью специальных моделей и математических методов рекомендаций по организации их эксплуатации. На рис. 1 и 2 представлены обобщенные схемы погрузочных и разгрузочных комплексов, применяемых в горной и горно-перерабатывающей промышленности.

На основании структурного анализа комплексов погрузки и разгрузки и их содержательного описания разработаны параметрические модели в соответствии с целями формирования и функционирования комплекса. Поведение системы характеризуется показателями: числом и последовательностью технологических операций в системе; структурой системы; техническими параметрами элементов системы, как материальных объектов.

Основные параметры комплекса: $Q_г$, и Q_c – годовой и суточный грузопоток по прибытию; млн.тонн; $t_м$- интервал поступления подвижного состава в систему; $\lambda_м$ – интенсивность поступление маршрутов или автомобилей под выгрузку (погрузку); $P_{зп}$ – вероятность занятости путей и маневровых площадок на фронте выгрузки (аналогичные параметры характеризуют параметры фронтов погрузки); $t_{о/р}$ – время, необходимое для работы с вагонами или автомобилями до

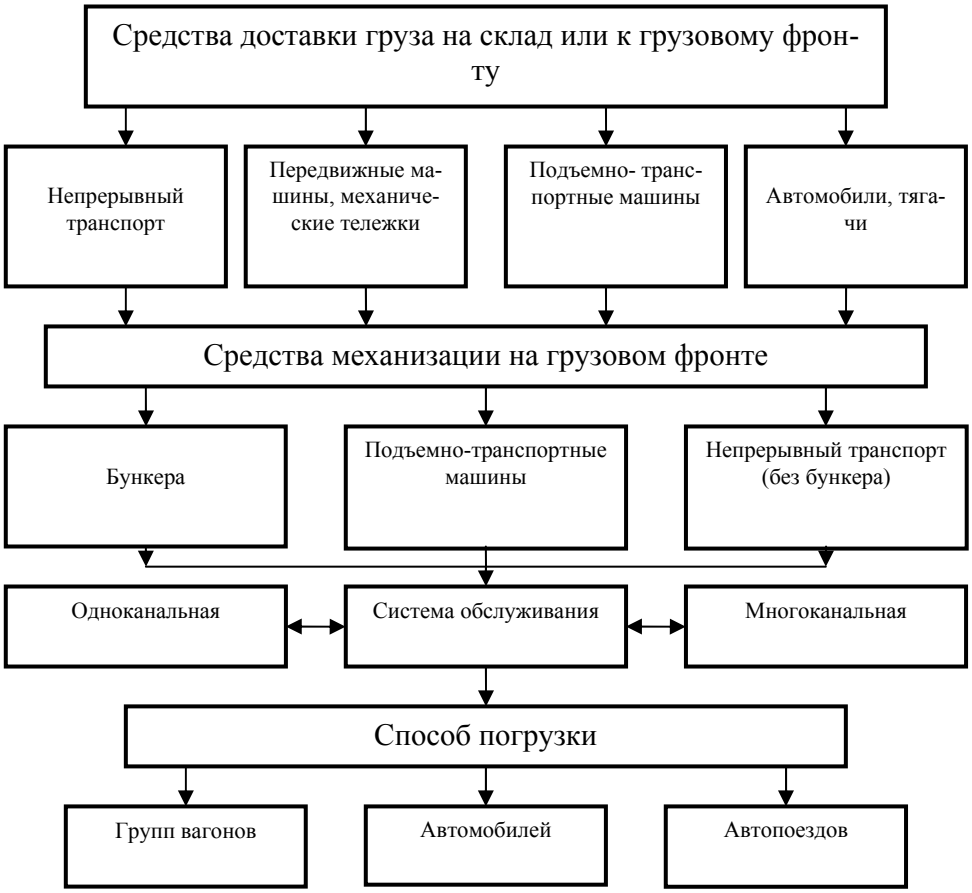


Рис. 1. Общая структура комплекса по погрузке массовых грузов

подачи на грузовой фронт; $P_{опп}$ – вероятность отсутствия подвижного состава для погрузки или разгрузки; $t_{выг(пог)}$ – время выгрузки (погрузки) подвижного состава на грузовом фронте; $P_{згр}$ – вероятность занятости грузового фронта подвижным составом; $E_{ос}$ – ёмкость оперативного склада; $E_о$ – ёмкость основного склада; $P_{зс}$ – вероятность того, что склад заполнен; $\lambda_{ско}$ и $\lambda_{ск}$ – интенсивность поступления грузов на оперативный и основной склады с производства и грузового фронта; M – число каналов обслуживания подвижного состава; i – число технологических операций с грузом и подвижным составом в системе; $n_о$ и n_j – число различных типов машин, механизмов и устройств в системе и на каждой технологической операции; Z_i – часовая техническая производительность машин и механизмов; $r_{гi}$ – обобщенная надежность машин, механизмов и устройств в системе; $K_{вр}$ – режим использования комплекса по времени.

Процессы грузопереработки в комплексах являются стохастическим как в

части поступления (отправления) грузов, так и в части обслуживания

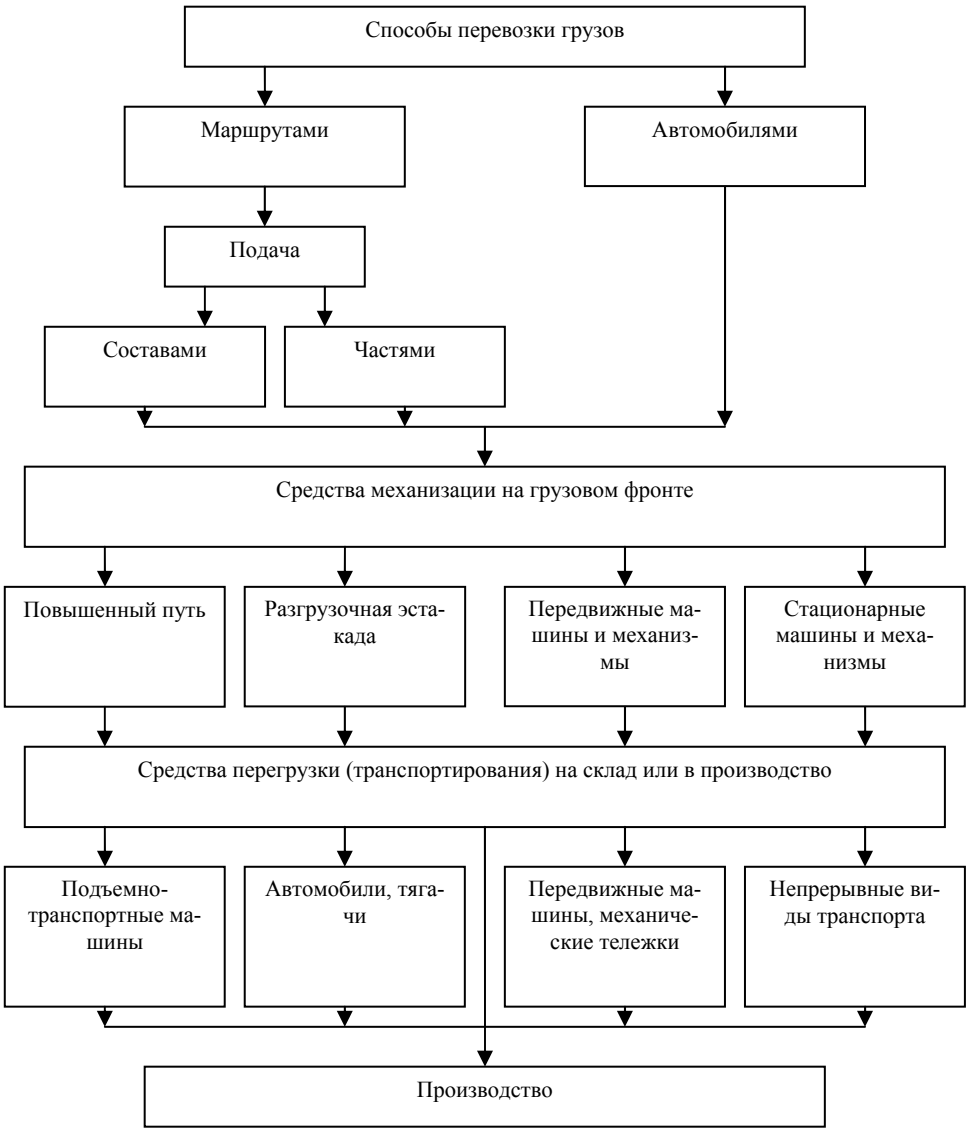


Рис. 2. Общая структура комплекса по выгрузке массовых грузов

автомобилей и вагонов в системе. Поэтому для исследования процессов, протекающих в них, применимы методы исследования операций, в частности: теория вероятности и математической статистики, теория массового обслуживания, теория надежности, имитационное моделирование.

Для исследования работы комплексов применена теория надежности. При рас-

чете структуры системы методами теории надежности необходимо учитывать ее особенности. Одна из главных особенностей системы – территориальная разобщенность и техническая автономность устройств, машин и механизмов, составляющих систему.

Все отказы системы, т.е. причины остановки процесса погрузки или разгрузки, по природе возникновения могут быть техническими или технологическими. Технологические отказы – это остановка производительного процесса, связанная с выполнением в системе вспомогательных функций по погрузке-выгрузке грузов.

Модель комплексов для целей расчета надежности представляется в виде блок-схемы. Блок-схема системы показывает схематически обозначенную взаимосвязь между отдельными устройствами и механизмами системы, выполняющими определенные технологические операции процесса.

Модель комплекса разрабатывается на стадии формализации задачи и должна обладать следующими свойствами: независимостью результатов решения от конкретного физического истолкования смысла элементов этой модели, содержательностью, дедуктивностью.

Важным для теории надежности является случай, когда:

$$F(t)=1-e^{-\lambda t};\ \ f(t)=\lambda\cdot e^{-\lambda t};$$

$$G(t)=1-e^{-\mu t};\ \ q(t)=\mu\cdot e^{-\mu t}, \qquad (1)$$

где λ - интенсивность отказов; μ - интенсивность восстановления.

Принимая надёжность комплекса

$$R_r(t)=\frac{\mu}{\lambda+\mu}+\frac{\lambda}{\lambda+\mu}\cdot e^{-(\lambda+\mu)t}, \qquad (2)$$

а вероятность

$$P(t+\tau)=e^{-\lambda(t+\tau)}=e^{-\lambda\tau}\cdot P(t), \qquad (3)$$

получаем вероятность безотказной работы на заданном участке $(t,t+\tau)$:

$$P(t+\tau)=\left[\frac{\mu}{\lambda+\mu}+\frac{\lambda}{\lambda+\mu}e^{-(\lambda+\mu)t}\right]e^{-\lambda\tau}. \qquad (4)$$

Величины λ и μ для стационарного процесса при $t\to\infty$ вычисляются по формулам:

$$\lambda=\frac{1}{T_{cp}}=const;\ \ \mu=\frac{1}{\tau_в}=const. \qquad (5)$$

Величины T_{cp} и $\tau_в$ для элементов системы определяются в результате математической обработки хронометражных наблюдений.

Надежность $R_{го}$ последовательных (основных) систем оценивается по зависимости:

$$R_{го}=\prod_{i=1}^{n} r_{гi}. \qquad (6)$$

При простейшем потоке отказов:

$$R_{го}=e^{-(\lambda_{т1}+\lambda_{с1})t}\cdot e^{-(\lambda_{т2}+\lambda_{с2})t}\cdots e^{-(\lambda_{тn}+\lambda_{сn})t}=$$
$$=\exp\left[-t\left(\sum_{1}^{n}\lambda_{тi}+\sum_{1}^{n}\lambda_{сi}\right)\right]. \qquad (7)$$

Надежность $R_{гр}$ резервированных подсистем зависит от количества резервирующих элементов (при $r_{ci}<1$):

$$R_{гр}=\left[1-\prod_{1}^{m+1}\left(1-e^{-\lambda_{тi}t}\right)\right]\times$$
$$\times\min\left[1,(m+1)\cdot e^{-\lambda_{сi}t}\right]. \qquad (8)$$

Общей формулы для расчета показателей надежности комбинированной структуры нет, так как конфигурация структур модулей может быть самой разнообразной. Комплексы, имеющие комбинированные структуры, могут быть приведены к основным после

первого этапа деления на простые (основные) подсистемы.

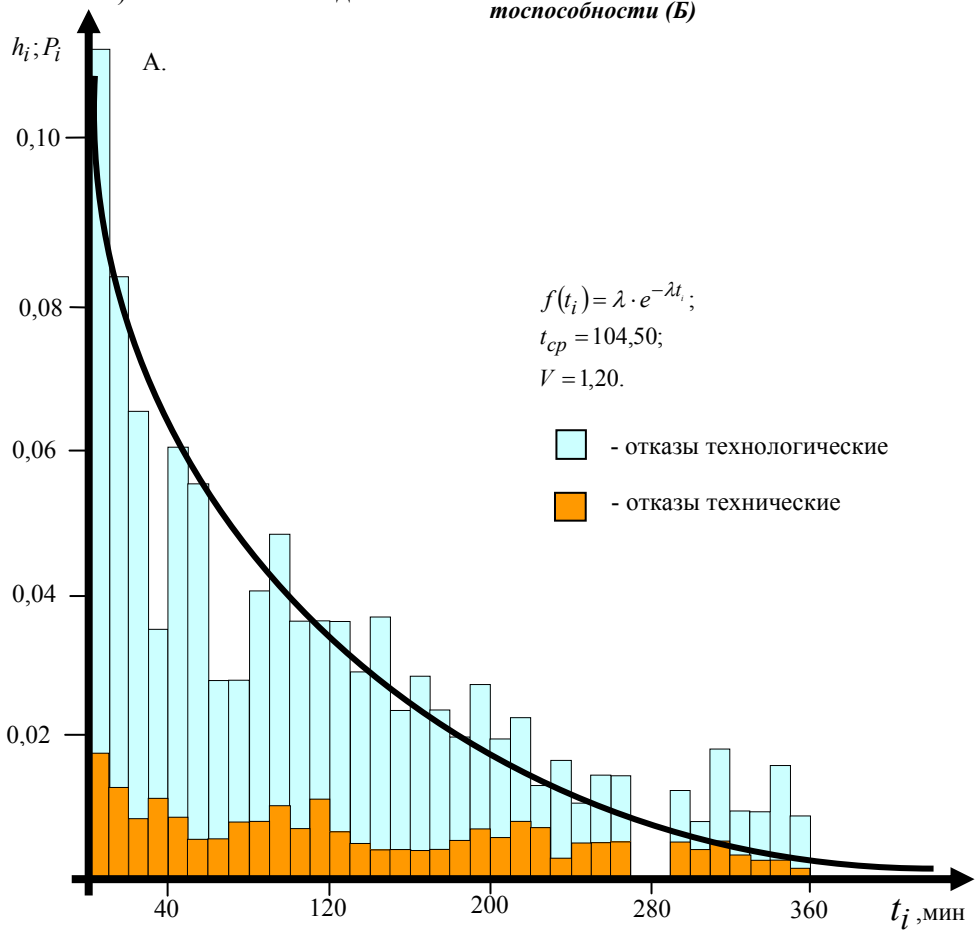


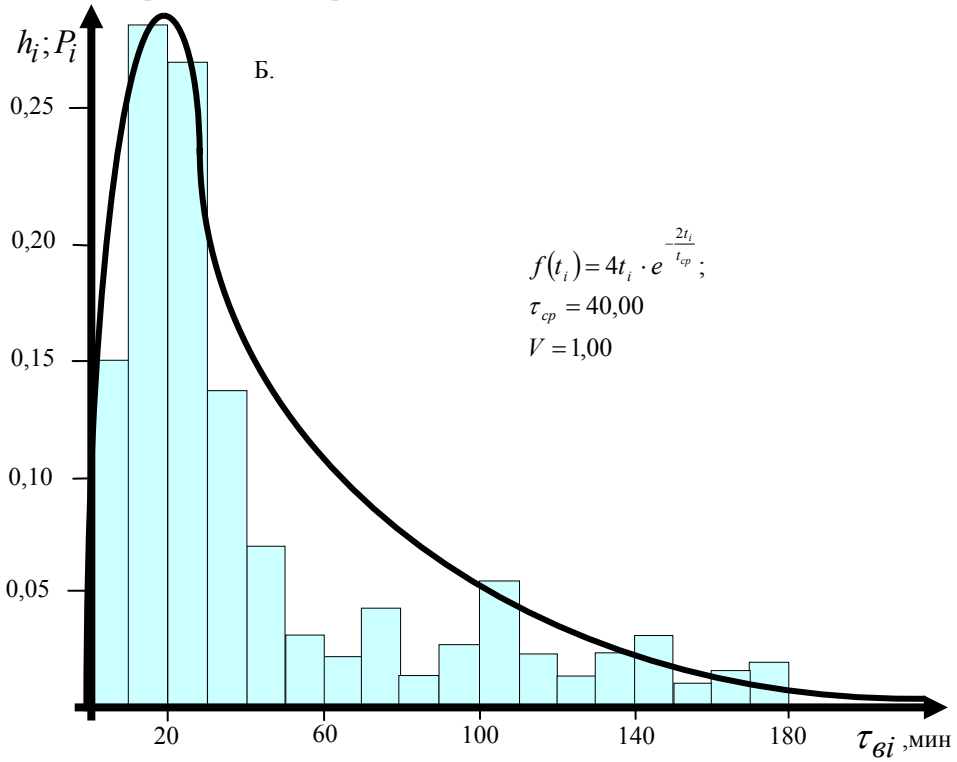
Рис. 3. Плотность распределения времени безотказной работы(А) и восстановления работоспособности (Б)

Исследование надёжности работы реальных комплексов приводились на крупных горно-обогатительных комплексах (Коршуновском и Соколовско-Сарбайском ГОК), на угольных обогатительных фабриках (ЦОФ «Сибирь», Беловская, Осинниковская), на тепловых электростанциях (Томусинская, Беловская, Назаровская, Ново-сибирская и др.).

Исследованы комплексы: погрузки сыпучих (угля) материалов – с бункерной погрузкой, с полубункерной и безбункерной погрузкой; с экскаваторной (грейферной) погрузкой; выгрузки сыпучих (угля) материалов - с различными видами вагоноопрокидывателей; с эстакадой с емкостными и безъемкостными приемными устройствами; с повышенным путем. Объем исходной информации, необходимой для получения моделей взаимодействия между элементами, рассчитывается по методикам планирования эксперимента.

Как показали исследования, надежность работы комплексов подчиняется экспоненциальному (реже другим) законам распределения как в части интенсивности отказов, так и в части в вос-

становления. На рис. 3 приводится пример плотности распределения времени безотказной работы (А) и времени восстановления (Б) комплекса вагоноопрокидывателя.



Как показывают исследования, около 80 % времени отказов приходится на технологические, т.е. выполнение вспомогательных операций, несовместимых с выполнением главных

функций комплекса. Следовательно, на производительность комплекса можно влиять, управляя его структурой.

На рис. 4 приведены возможные структуры комплекса вагоноопрокидывателя, а табл. 1 – показатели надежности и производительности для каждой из структур.

Рис. 4. Возможные варианты структур комплекса вагоноопрокидывателя

Как видно из таблицы, производительность комплексов в значительной степени зависит от их структуры, что позволяет организационно-техническими мерами влиять на их производительность, не меняя количества каналов обслуживания, т.е. производительность комплексов (в примере – вагоноопрокидывателя) может увеличиваться за счет развития их периферии, а не за счет увеличения их количества, что обусловливает экономическую целесообразность развития периферии основных механизмов комплексов. ГИАБ

Коротко об авторах

Воскресенский Игорь Владимирович – аспирант, инженер, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк.

Показатели надежности и часовой производительности комплекса вагоноопрокидывателя

Блок-схема	Надежность			Q_{zj} ваг/час
	R_{mj}	R_{cj}	R_{zj}	
1. Основная блок-схема	0,894	0,713	0,637	17,20
2. Системное резервирование	0,868	1,000	0,868	23,44
3. Резервирована только ***ЛН***	0,931	0,843	0,785	21,19
4. Резервирована группа (***ВРС – Р – Б***)	1,000	0,699	0,699	18,87
5. Резервирована только ***ЛУ***	1,000	0,651	0,651	17,58
6. Резервирован только ***К***	0,698	1,000	0,698	18,85
7. Резервирован только ***С***	1,000	0,656	0,656	17,71
8. Полное поэлементное резервирование элементов комплекса	1,000	0,995	0,995	26,86

© И.В. Воскресенский, 2007

УДК 622.23.05

И.В. Воскресенский

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПОГРУЗОЧНЫХ И РАЗГРУЗОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Объектом исследования является погрузочный или разгрузочный комплекс, представляющий собой совокупность машин, механизмов и устройств, территориально разобщенных и технически автономных, связанных выполнением единого технологического процесса погрузки или разгрузки массовых навалочных грузов. В общем виде комплексы состоит их трех подсистем: подсистема подачи порожнего подвижного состава; подсистема подачи груза к месту погрузки; подсистема выхода груженого подвижного состава (для погрузочных систем); для разгрузочных – подсистемы подачи груженого подвижного состава; грузоотбора; обработки порожнего подвижного состава.

Выбор структуры погрузочного или разгрузочного комплекса, как сложной системы, представляет собой оптимизационную задачу. Требования к структуре комплексов противоречивы; с одной стороны, необходимо обеспечить заданный уровень перерабатывающей способности на грузовых фронтах, соответствующий заданной интенсивности добычи и переработки угля, высокую степень механизации и автоматизации систем грузопереработки, складской подсистемы, компенсирующей неравномерность поступления и потребления грузов, с другой – снижение затрат на формирование комплекса и себестоимости грузопереработки угля. Задачей оптимизации является удовлетворение каждого из этих требований в экономически целесообразной мере.

Но задача оптимизации не ограничивается только экономическими и некоторыми другими натуральными параметрами. Дело в том, что данная задача является оптимизационной и в техническом плане, т.е. обеспечение экономически целесообразного уровня производительности комплекса может быть достигнуто тоже двумя путями, а именно, путем технического усовершенствования элементов систем, связанных с повышением их единичной производительности и надежности, или путем синтеза структуры комплексов из элементов определенного технического совершенства и надежности.

Первый путь подразумевает создание такой системы машин, механизмов и устройств, которая бы имела высокую степень взаимосвязанности элементов для ликвидации технологических отказов (технологической несовместимости) в комплексах, обуславливающих максимальную производительность главных

механизмов; такие комплексы должны быть хорошо приспособлены к автоматизации всего процесса грузопереработки.

Первый путь не позволяет варьировать необходимым уровнем производительности комплекса в зависимости от колебания объема добычи или требует существенной избыточности для компенсации её неравномерности.

Второй путь позволяет варьировать производительностью, следовательно, и стоимостью комплекса в широких пределах при одних и тех же главных элементах комплекса в зависимости от конкретных условий и наложенных ограничений, связанных с регламентацией производительности комплексов. Поэтому в работе предпочтение отдается второму пути поиска оптимального решения в части реконструкции и проектирования технической оснащенности погрузочно-разгрузочных комплексов.

Математические методы оптимизации сложных систем основаны на поиске экстремума определенной функции, в частности, функции цели системы комплекса.

Учитывая многомерность задачи оптимизации структуры комплекса и неопределенность записи взаимодействия и взаимозависимости между элементами системы, в работе для оптимизации структур комплексов принят метод динамического программирования. Этот метод имеет те особенности, что не требует строгой математической записи зависимости между переменными, входящими в параметрическое описание; т.е. эта взаимозависимость может быть представлена в виде непрерывных функций (функция текущих расходов, времени простоя и ожидания вагонов в системе и др.), ряда дискретных величин (капитальные затраты на строительство или реконструкцию системы), матрицы (показатели надежности элементов и блок-элементов, значения производительности комплекса в зависимости от структуры и т.д.), стохастических функций (режимы поступления и потребления груза на предприятии).

Для оптимизации структур принят метод многомерного динамического программирования с вложенными циклами и итеративным поиском экстремума внутри цикла.

Общий вид целевой функции для оптимизации параметров ТТМ

$$C = F(Э_п; Э_в; Э_{ск}; Э_{пер}; Э_{по}; Э_{пс}; К_п; К_в; К_{ск}; К_{пер}; К_{по}; К_{пс}) \to \min, \quad (1)$$

где $Э_п; Э_в$ - составляющие функции, связанные с эксплуатацией погрузочных и выгрузочных механизмов и устройств; $Э_{ск}$ - составляющие функции, связанные с эксплуатацией складов и средств перегрузки со склада в производство и из производства на склад готовой продукции; $Э_{пер}$ - составляющие функции, связанные с эксплуатацией механизмов и устройств перегрузки от грузового фронта до склада (для выгрузочных фронтов) и от склада готовой продукции к грузовому фронту (для погрузочных фронтов); $Э_{по}$ - составляющие функции, связанные с эксплуатацией путей приема и отправления при железнодорожных перевозках и подъездных путей и маневровых площадок при автомобильных перевозках и другого необходимого путевого развития, связанного грузо -, вагоно - и автомобиле - переработкой грузов в комплексе; $Э_{пс}$ - составляющие функции, связанные с эксплуатацией автомобилей, локомотивов и маневровых средств в ТТМ; $К_п; К_в; К_{ск}; К_{пер}; К_{по}; К_{пс}$ - составляющие функции, связанные с капи-

тальными затратами, соответственно, в техническое оснащение фронтов погрузки и выгрузки; склады и средства перегрузки со склада в производство и из производства на склад готовой продукции; на механизмы и устройства перегрузки от грузового фронта до склада (для выгрузочных фронтов) и от склада готовой продукции к грузовому фронту (для погрузочных фронтов); на путевое развитие парков приема и отправления (для железнодорожного транспорта), автотранспортной инфраструктуры и другого необходимого путевого развития; на локомотивы, маневровые средства и автомобили в комплексе.

Целевая функция может вводиться в систему расчета структуры комплекса на стадии ее формирования из отдельных элементов, в этом случае при разработке структуры принята методология проектирования систем (в терминах общей теории надежности). Если целевая функция используется в качестве мерила для сравнения вариантов структур, но не вводится в систему расчетов, то используется методология улучшения систем. Проектирование (синтез) систем предпочтительнее применять при формировании новых систем или реконструкции существующих, связанных с изменением числа каналов обслуживания грузопотоков. Улучшение систем целесообразно использовать в тех случаях, когда проводятся расчеты по обоснованию тех или иных организационно-технических мероприятий по повышению производительности систем и улучшению качества транспортного обслуживания предприятий.

Необходимо еще отметить одно обстоятельство: при уточнении структуры целевой функции в нее можно вводить стоимость простоя автомобилей и вагонов на грузовом фронте или в целом в комплексе, в этом случае степень развития грузового фронта, складской системы и в целом комплекса будет определяться с учетом стоимости простоя автомобилей и вагонов и этот показатель целесообразно вводить непосредственно в целевую функцию при оптимизации структуры при ее синтезе или улучшении.

Синтезом называется процесс формирования (развития) структуры путем введения в систему элементов, более совершенных по сравнению с существующими по технико-экономи-ческим и эксплуатационным характеристикам, или резервирующих элементов или их групп с целью получения заданных выходных параметров комплекса.

К основным входным параметрам системы относятся: коэффициент надежности, производительность системы, перерабатывающая способность, время пребывания подвижного состава в системе и затраты связанные с ним, затраты на формирование и эксплуатацию системы, удельные затраты на единицу перерабатываемого груза, энергоемкость и др.

Входные параметры вводятся в решение как факторы ограничения или функции цели при оптимизации структуры системы.

Под оптимизацией структуры имеется в виду процесс поиска экстремума по какому-либо выходному параметру системы при соблюдении ограничений, накладываемых на решение, и целесообразном удовлетворении всех остальных требований (параметров).

В зависимости от исходных условий и наложенных ограничений оптимизация систем осуществляется по одному из следующих вариантов (таблица).

Варианты схем оптимизации систем

№ расчетной схемы	Исходные данные	Функция цели и ограничения
1	Основная блок-схема системы, $r_{mi}; r_{ci}$; $C_i; \lambda_n$; $h_o; S_{mp}$; Z	$n_p \to \min$ при $R_{rj} \geq [R_r]$
2		$C_{cj} \to \min$ при $R_{rj} \geq [R_r]$
3		$R_{rj} \to \max$ при $C_{cj} \leq [C_c]$
4		$R_{rj} \to \max$ при $(C_{cj} + C_{mpj}) \leq [S]$
5		$F = \dfrac{C_{cj} + C_{mpj}}{Q_{Tj}} \to \min$

В таблице постоянные величины: r_{mi}, r_{ci} - соответственно, техническая и технологическая надежность элементов; C_i - суммарные затраты на *i*-ый элемент; λ_n - интенсивность поступления угля в подсистему погрузки (выгрузки); h_o - объем единовременной поставки груза в комплекс; $S_{пр}$ - стоимость использования подвижного состава; Z - производительность основных механизмов системы; $r_{гi}$ - обобщенный коэффициент надежности элемента:

$$r_{ri} = r_{mi} \cdot r_{ci}; \qquad (2)$$

R_{ro} - обобщенный коэффициент надежности основной системы:

$$R_{ro} = \prod_1^n r_{ri} = \prod_1^n (r_{mi} \cdot r_{ci}); \qquad (3)$$

C_o - суммарные приведенные затраты на основную систему:

$$C_o = \sum_1^n C_i; \qquad (4)$$

n - общее число элементов в основной системе; n_p - то же, в комбинированной.

Величины, меняющиеся при развитии структуры:

R_{ri} - обобщенный коэффициент надежности комбинированной системы:

$$R_{ri} = \prod_1^{n_1} r_{ri} \cdot \prod_1^{n_2} r_{rj}\cdot, \qquad (6)$$

где

$$r_{rj} = \left[1 - (1 - r_{mi})^2\right] \cdot \left[\min(1 \text{ или } 2 r_{ci})\right];$$

при $m = 1$ (7)

m – количество резервных элементов; Q_{mj} - максимальная производительность канала обслуживания:

$$Q_{mj} = Z \cdot R_{гj} \cdot K_{вр}, \qquad (8)$$

где $K_{вр}$ - коэффициент использования системы по времени.

C_{cj} - суммарные приведенные затраты в комбинированную систему:

$$C_{cj} = C_o + \sum_1^{n_2} c_i \qquad (9)$$

где n_2 - количество элементов, резервированных в системе с кратностью $m = 1$; $C_{прj}$ - затраты, связанные с простоем вагонов в комбинированной системе; F - удельные затраты в систему с учетом затрат на простой ПС (или без учета) на единицу производительности системы.

Ограничения:

$[R_г]$ - заданный уровень надежности системы (оптимизация проводится по $R_г$, т.к. в формуле эксплуатационной производительности паспортная производительность и время использования комплекса по времени являются константами, а структуру характеризует $R_г$); $[C_c]$ - ограничение суммарных приведенных затрат в систему; $[S]$ - то же, с учетом затрат на простой вагонов в системе:

$$[S] = [C_c] + C_{прj}. \qquad (10)$$

Перечень исходных данных, необходимых для оптимизации структур, представлен в таблице. В реальных условиях проектирования эти данные получают следующим образом:

- определяется основной механизм или устройство комплекса и технология грузопереработки, т.е. перечень и последовательность всех операций технологического процесса; по заданной технологии разрабатывается основная блок-схема подсистемы, в которой на каждой операции работает один механизм или устройство; на этой стадии определяется и степень детализации процесса по операциям;

- коэффициенты технической и технологической надежности r_{mi} и r_{ci} и другие характеристики получают в результате обработки хронометражных наблюдений для реконструируемых систем; при проектировании новых – коэффициенты технической надежности элементов берутся на основании опыта эксплуатации в аналогичных условиях, а коэффициент технологической надежности – на основании расчета взаимодействия между центром системы и элементом по заданным техническим характеристикам последних или на основании характеристики, полученной моделированием работы элемента в основной системе на ЭВМ;

- показатели C_i - затраты на строительство и эксплуатацию элемента; $S_{пр}$ - затраты на один час простоя подвижного состава в системе, берутся из соответствующих нормативных источников в зависимости от того, что считается требованием; в данной работе под требованием понимается объем единовременной поставки угля в систему;

- λ_n - интенсивность поступления требований в систему определяется для реконструируемых систем в результате обработки статистических материалов по режиму поступления угля;

- n - количество подвижного состава на линии надвига погрузочного или разгрузочного механизма определяется существующими или проектируемыми геометрическими параметрами путевого развития или возможностями (техническими характеристиками) маневровых устройств, занятых в системе.

По всем предложенным вариантам оптимизации разработаны подробные вычислительные схемы.

В качестве примера приводится вычислительная схема оптимизации структуры комплекса по минимальным удельным затратам в формирование и эксплуатацию с учетом стоимости простоя подвижного состава в комплексе (схема 5, таблица).

В данной задаче на решение не наложены ограничения по затратам, простою ПС и уровню надежности, а требуется таким образом сформировать структуру системы, при которой суммарные приведенные затраты и затраты на простой ПС, отнесенные к производительности системы, были бы минимальными. Целевая функция имеет вид:

$$F = \frac{C_o + \sum_1^{n_2} C_i + 2 \cdot \sum_1^{n_3} C_i + \cdots}{Q_{mj}} +$$

$$+ \frac{m \cdot \sum_1^{n_{m+1}} C_i + C_{npj}}{Q_{mj}} \to \min \qquad (11)$$

или

$$F = \frac{1}{z \cdot K_в} \times$$

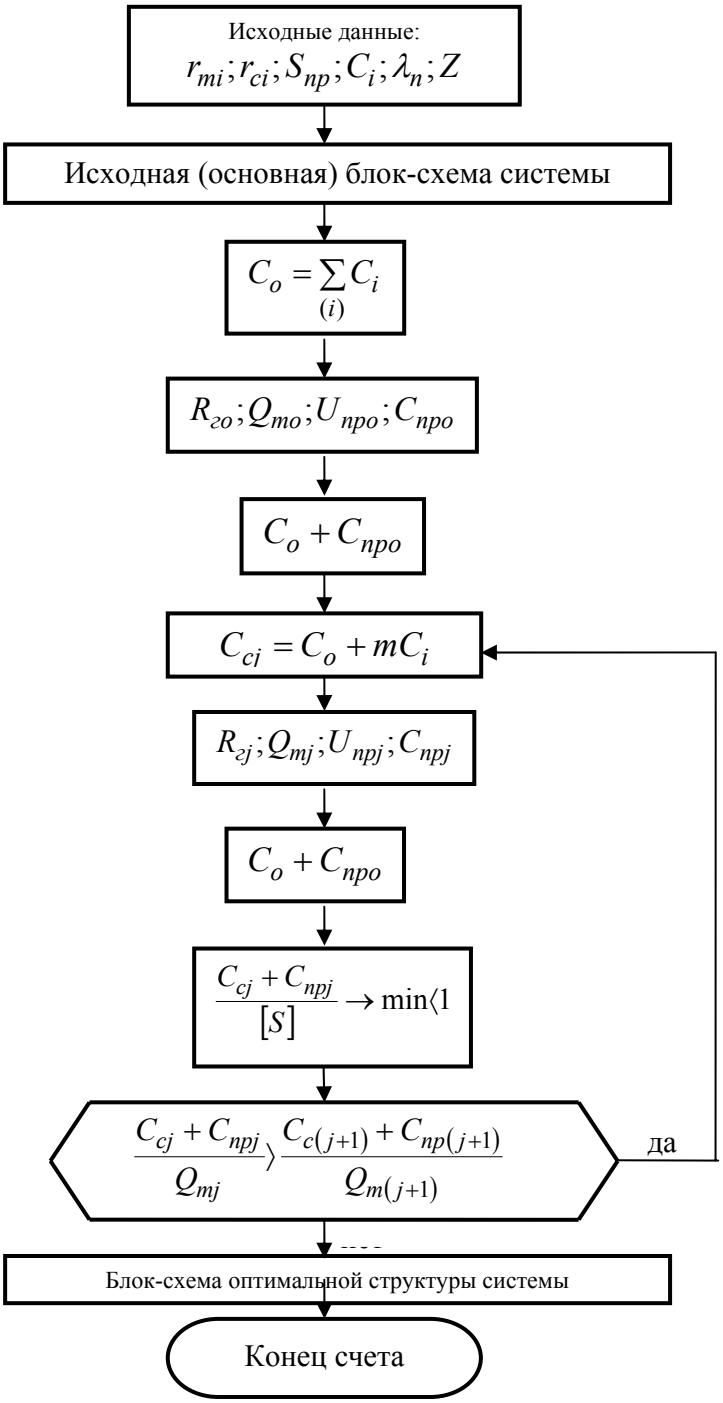
$$\times \frac{C_o + \sum_1^{n_2} C_i + 2 \cdot \sum_1^{n_3} C_i + \cdots}{\prod_1^{n_1} r_{ri} \cdot \prod_1^{n_2} r_{rj} \cdots \prod_1^{n_{m+1}} r_{rj}} +$$

$$+ \frac{m \cdot \sum_1^{n_{m+1}} C_i + C_{npj}}{\prod_1^{n_1} r_{ri} \cdot \prod_1^{n_2} r_{rj} \cdots \prod_1^{n_{m+1}} r_{rj}} \to \min, \qquad (12)$$

т.е., при $\frac{1}{z} \cdot K_в = const$ требуется найти такую структуру системы, когда достигается минимум отношения затрат в формирование, эксплуатацию

Приведенная функция (12) имеет только один минимум в пределах изменения производительности от Q_{mo} до z; функция определена только в этих пределах, т.к. Q_{mo} – минимальное значение производительности основной структуры системы, а z - максимальное, поскольку дальнейшее повышение производительности комплекса связано с техническим перевооружением или изменением технических характеристик основных механизмов.

Вычислительная схема поиска оптимального решения следующая:



Блок-схема расчета оптимальной структуры по минимальным удельным приведенным затратам с учетом затрат на простой ПС в системе системы и простой подвижного состава в ней к уровню надежности, достигнутой на основе этих затрат

- по исходной информации по элементам r_{mi}; r_{zj}; C_i определяются характеристики основной структуры: C_o; $R_{го}$; $Q_{то}$; $u_{про}$; μ_o; $C_{про}$;

- вычисляется отношение $(C_о + C_{про})/Q_{то}$;

- резервируем последовательно каждый элемент и рассчитываем все характеристики полученных блок-схем системы;

- элемент, резервирование которого приводит к наименьшим удельным затратам, вводим в комплекс и переходим к следующему этапу расчета, считая полученную блок-схему системы на данном этапе основной для следующего этапа расчета.

После каждого этапа сравниваем удельные затраты, полученные на данном этапе, с удельными затратами, полученными на предыдущем этапе. Расчет продолжаем до тех пор, пока резервирование очередного элемента не будут вызывать увеличение удельных затрат.

Вычислительная схема расчета оптимальной структуры по минимальным удельным затратам представлена на рисунке.

Приведенные вычислительные схемы оптимизации структур комплексов позволяют варьировать их производительностью за счет развития периферии комплекса, т.е., не прибегая к увеличению количества дорогостоящих основных механизмов комплексов в определенных пределах.

Коротко об авторах

Воскресенский Игорь Владимирович – аспирант, инженер, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк.

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ ГОСГОРТЕХНАДЗОРА РОССИИ (НТЦ «ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»)			
КРУЧИНИНА Ирина Антоновна	Разработка системы обязательного страхования ответственности владельцев опасных объектов	05.26.03	д.т.н.