



*New method for creation of models of operative control of enterprise is offered. The computer variant of the organizational structure, based on analysis of the changing dynamics of control units, is offered and illustrated at the example of one of organizational structures of Belorussian metallurgical works.*

А. Н. ЧИЧКО, БНТУ, Н. В. АНДРИАНОВ, РУП «БМЗ», Ю. В. ЯЦКЕВИЧ, БНТУ

УДК 519:669.27

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Проблема создания методов автоматизации для оперативного управления предприятием является одной из сложнейших задач теории управления и организации производственных систем. Анализ существующих математических моделей оптимизации организационной структуры [1–5] показал, что в настоящее время практически отсутствуют модели, позволяющие контролировать динамику работы организационной структуры предприятия. Как следствие, отсутствуют компьютерные модели, с помощью которых можно было бы оперативно анализировать динамику загруженности блоков управления. В связи с этим представляет научный и практический интерес создание как общих, так и специально ориентированных программных средств, позволяющих оценивать оперативно динамику процесса управления предприятием.

Цель настоящей работы – разработка новых подходов для компьютерного моделирования процесса оперативного управления организационными структурами металлургического предприятия с целью оптимизации их работы.

**Постановка задачи.** Пусть имеется предприятие со сложной иерархической системой управления (рис.1), которая управляет множеством исполнительных подразделений (отделов):  $P_1, P_2, \dots, P_p, \dots, P_r$ .

Каждым подразделением непосредственно управляет руководитель (элемент управления)  $R_1, R_2, \dots, R_p, \dots, R_r$ . Руководитель подразделения распоряжается только ресурсами данного подразделения и все оперативные задачи, которые можно решить силами данного подразделения, он решает самостоятельно, т.е. они не выходят на более высокий уровень управления. В каждом подразделении могут возникать задачи, для решения которых требуется привлечение ресурсов

какого-либо другого подразделения. Например, пусть  $P_1$  – это производственный цех, в котором произошла поломка оборудования, и начальник цеха  $R_{11}$  решает, что для его ремонта нужно привлечь несколько специалистов из ремонтного подразделения  $P_2$ . Поскольку  $R_{11}$  не располагает ресурсами подразделения  $P_2$ , то он передает ее на более высокий уровень управления руководителю. Руководитель на следующем уровне имеет полномочия распоряжаться требуемым подразделением  $P_2$ , поэтому он отдает соответствующее распоряжение на уровень ниже начальнику ремонтного подразделения  $R_{12}$ , который отдает распоряжения непосредственным исполнителям. Возможна ситуация, когда руководитель  $R_{21}$  решает, что для такого ремонта нужно привлечь еще больше ресурсов (например, ресурсы сторонних организаций). В этом случае он передает эту задачу еще на более высокий уровень управления – директору предприятия  $R_{31}$ .

Возможно существование горизонтальных связей между руководителями одного уровня для решения некоторых часто возникающих вопро-

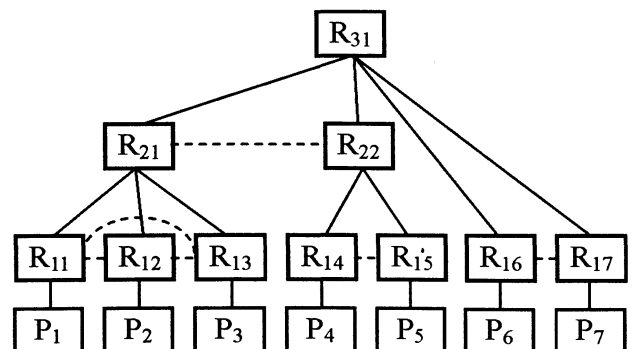


Рис. 1. Фрагмент обобщенной структуры управления предприятием

сов, которые могут быть решены «в рабочем порядке» без перехода на вышестоящие уровни управления.

Таким образом, система управления предприятием представляется в виде формальной модели, состоящей из источников (приемников) задач  $P_k$  ( $k=1, \dots, K$ ) и элементов управления  $R_{ij}$  ( $i=1, \dots, I, j=1, \dots, J$ ) с различными каналами связи между ними, определяемыми структурой системы управления. Функционирование системы представляется в виде появления задач в источниках и их последовательного прохождения через каналы связи по элементам управления до нужного приемника (исполнителя). В каждом  $k$ -м источнике случайным образом возникают свои задачи  $Z_{k1}, \dots, Z_{kn}, \dots, Z_{kN}$ , которые характеризуются распределениями вероятности периода возникновения  $T_{kn}$  (для упрощения – средним периодом возникновения и дисперсией этого интервала), маршрутом прохождения по элементам управления до целевого подразделения и временем принятия решения по данной задаче каждым элементом управления  $\Delta t_{ijkn}$  на маршруте прохождения.

Если в момент поступления задачи руководитель занят решением другой задачи, то поступившая задача становится в очередь и будет рассмотрена после решения или передачи всех поступивших ранее задач. Возможна разработка модели с приоритетами задач. В этом случае задачи в очереди сортируются по их приоритетам. Вначале решаются задачи с наивысшим приоритетом. Целью создания модели управления такой структурой является расчет уровней загрузки оперативными задачами каждого руководителя при заданной структуре управления предприятием и фиксированном множестве задач, характеризующихся интенсивностью возникновения, местом возникновения, маршрутом прохождения по элементам управления и временем принятия решения для данной задачи каждым из этих элементов; оптимизации структуры управления с точки зрения минимизации элементов управления и равномерности их загрузки при условии, что суммарное время решения задач не должно превышать рабочее время руководителя.

#### **Процесс моделирования и описание имитационной модели системы управления предприятием**

Каждый элемент управления представляется в виде канала обслуживания задач с очередью не более некоторой длины. Если в процессе моделирования очередь достигла максимальной длины, что равносильно перегрузке элемента управления, то моделирование прекращается и заданная структура признается неработоспособной. Каждое подразделение представляется в виде генератора задач. В качестве исходных параметров модели задается некоторый шаг дискретизации модельного времени  $\Delta t$  исходя из минимального времени рассмат-

риваемых в системе процессов (например, время принятия решения о передаче задачи на более высокий уровень управления). Каждый шаг функционирования модели сопровождается приращением модельного времени на  $\Delta t$ .

На каждом шаге функционирования модели выполняются следующие операции.

1. Просматривается весь перечень задач и сравнивается время возникновения данной задачи с текущим модельным временем. Если времена совпали, то:

1.1. Для данной задачи определяется маршрут ее прохождения по структуре управления и задача перемещается в очередь 1-го в маршруте управляющего элемента.

1.2. С помощью генератора случайных чисел с заданным распределением вычисляется следующее время возникновения данной задачи.

2. Просматривается каждый элемент управления. Если элемент управления занят решением задачи, то сравнивается время окончания решения с текущим модельным временем. Если времена совпали, то:

1.1. Данная задача передается в очередь следующего по маршруту элемента управления.

1.2. Из очереди выбирается следующая задача и определяется (возможно генератором случайных чисел) время окончания ее решения.

Если элемент управления не занят решением и очередь задач пуста, то данный квант времени  $\Delta t$  суммируется ко времени простоя элемента управления.

Для наблюдения за динамикой процесса управления используется панель управления (рис. 2). Каждый прямоугольный элемент на экране представляет собой элемент управления или подразделение. Подчиненные элементы управления или подразделения располагаются в одной строке, начиная с той позиции по вертикали, которую занимает управляющий ими элемент. Для более компактного вида схемы элементы с меньшим числом подчиненных элементов располагаются правее элементов с большим числом подчиненных в строке элементов управления одного уровня. Внутри каждого элемента управления, кроме его названия, указываются суммарное время простоя элемента от начала моделирования, идентификационный номер задачи, которая решается элементом в настоящий момент и идентификационные номера задач, которые ожидают своего решения. Внутри каждого подразделения, кроме его названия, указываются идентификационный номер задачи, которая возникает в данном подразделении в ближайшее время, а также время, через которое эта задача возникнет. Представленный вид панели управления может быть изменен.

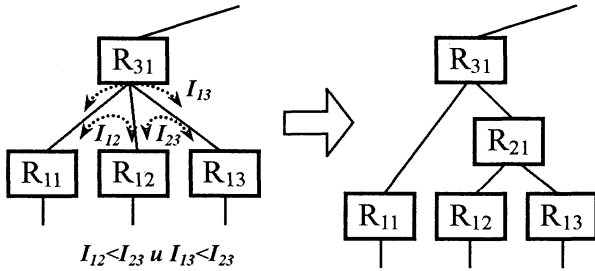


Рис. 2. Введение дополнительного элемента управления  $R_{21}$  для уменьшения нагрузки на элемент  $R_{31}$

**Анализ результатов моделирования и совершенствование структуры системы управления**

В результате моделирования могут быть выявлены различные недостатки системы управления, которые сводятся к двум основным:

- перегруженность элемента системы управления;
- недостаточная загруженность элемента системы управления.

Перегруженность элемента системы управления проявляется в постоянно занятой (слишком длинной) очереди задач или слишком малом времени простоя элемента по отношению к общему времени наблюдения за системой. Недостаточная загруженность элемента проявляется в слишком большом времени простоя элемента.

Существуют всего три элементарных операции изменения структуры с целью перераспределения нагрузки. Все остальные варианты изменения структуры можно свести к последовательности этих элементарных. Причем для первых двух операций возможна обратная операция (т.е. всего пять операций).

1. Введение дополнительного элемента управления (рис. 2). (Аналогичная обратная операция – удаление элемента.) При очень большой нагрузке на элемент управления  $R_{31}$  вводится дополнительный элемент  $R_{21}$ , который берет на себя решение задач, связанных с элементами  $R_{12}$  и  $R_{13}$ . При этом интенсивность потоков задач между элементами  $R_{12}$  и  $R_{13}$  ( $I_{23}$ ) должна быть наибольшей. Тогда нагрузка между элементами  $R_{31}$  и  $R_{21}$  распределится более равномерно. Этот способ целесообразен для двукратного изменения нагрузки на элемент.

2. Передача управления элементу более низкого уровня (рис. 3). (Аналогичная обратная операция – передача управления элементу более высокого уровня.) В этом случае управление подчиненным элементом  $R_{12}$  передается от элемента  $R_{31}$  к элементу  $R_{21}$ . При этом желательно, чтобы интенсивность потоков задач между элементом  $R_{12}$  и группой  $R_{13}-R_{14}$  была больше, чем между элементом  $R_{11}$  и

группой  $R_{13}-R_{14}$  ( $I_{23}+I_{24}>I_{13}+I_{14}$ ). Тогда нагрузка на элемент  $R_{31}$  уменьшится более значительно.

3. Передача управления между элементами одного уровня (рис. 4). Управление элементом  $R_{13}$  передается от элемента  $R_{21}$  к элементу  $R_{22}$ . Такая операция имеет смысл только в том случае, если интенсивность потока задач между  $R_{13}$  и элементами  $R_{11}-R_{12}$  меньше или сопоставима с интенсивностью потока между  $R_{13}$  и  $R_{14}-R_{15}$ . Иначе это приведет к значительному увеличению нагрузки на элемент  $R_{31}$ .

Путем этих элементарных операций последовательно корректируется система управления и результат изменений проверяется на модели. Критерием оптимальности работы системы является тот случай, когда любая из этих операций приведет к худшему результату в смысле времени простоя, перегрузке или неравномерности загрузки элементов управления.

**Пример моделирования динамики системы управления копрового цеха**

**Постановка задачи.** Пусть дана организационная структура одного из подразделений БМЗ, например, организационная структура управления копрового цеха [5]. Она состоит из 33 элементов управления, каждый из которых связан с несколькими другими по иерархическому принципу (один главный – несколько подчиненных).

Данные об этой структуре сохраняются в текстовом файле в виде табл. 1. В ней каждому элементу управления присваивается порядковый номер, по которому другие элементы управления связываются с данным.

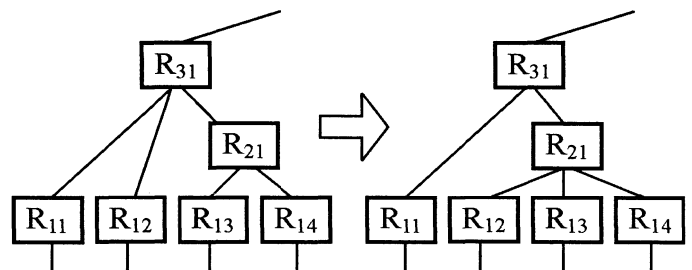


Рис. 3. Передача управления между элементами разного уровня (увеличение нагрузки на элемент  $R_{21}$  и уменьшение нагрузки на элемент  $R_{31}$ )

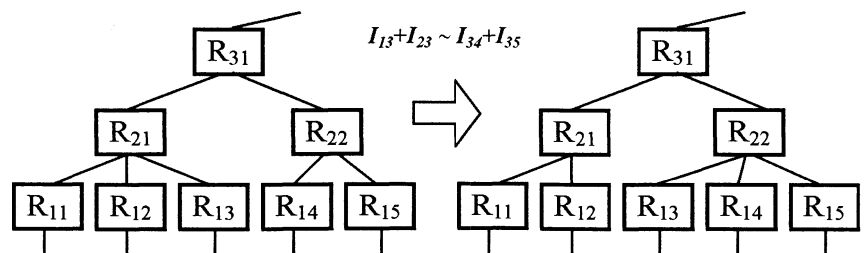


Рис. 4. Передача управления между элементами одного уровня (увеличение нагрузки на элемент  $R_{22}$  и уменьшение нагрузки на элемент  $R_{21}$ )

Таблица 1

Номер элемента	Название элемента управления	Краткое название (аббревиатура)	Подчиненные элементы
1	Начальник цеха	Нач.цеха	2,3,4,5,6,7,8,9,10
2	Зам. начальника цеха по мехоборудованию	ЗНЦ по мех.об.	11,20
3	Зам. начальника цеха по производству	ЗНЦ по пр-ву	23,24,27
4	Зам. начальника цеха по электрооборудованию	ЗНЦ по эл.об.	29
5	Инженер по организации и нормированию труда	Инж. по труду	
6	Инженер по организации труда и кадрам	Инж. по кадрам	
7	Экономист	Экономист	
8	Инженер по охране труда ТБ	Инж. по охране труда	
9	Мастер АБК	Мастер АБК	
10	Техник по экологии	Эколог	
11	Механик цеха	Механик	12,14,16,17,18,19
12	Старший мастер по ремонту напольного мехоборудования	СтМНМО	13
13	Мастер по ремонту напольного мехоборудования шлакового двора УОИ	МНМОШл	
14	Старший мастер по ремонту кранового мехоборудования	СтМКрМО	15
15	Мастер по ремонту кранового мехоборудования	МКрМО	
16	Мастер по ремонту гидравлического оборудования	МГО	
17	Мастер по ремонту энергетического оборудования	МЭНО	
18	Мастер по подготовке производства	МПП	
19	Помощник мастера напольного мехоборудования	ПМНМО	
20	Начальник технического бюро	Нач.техбюро	21,22
21	Инженер по комплектации оборудования и материалов	Инж. комплект.	
22	Инженер по заказам	Инж. заказ.	
23	Технолог цеха	Технолог	
24	Старший мастер ОПЛ	СтМОПЛ	25
25	Начальник смены	Нач.смены	26
26	Мастер ОПЛ	МОПЛ	
27	Старший мастер шлакового двора УОИ	СтМШлДв	28
28	Мастер шлакового двора УОИ	МШлДв	
29	Электрик цеха	Электрик	30,32
30	Старший мастер по ремонту кранового электрооборудования	СтМКрЭО	31
31	Мастер по ремонту кранового электрооборудования	МКрЭО	
32	Старший мастер по ремонту электрооборудования участка регулируемого электропривода	СтМЭОЭП	33
33	Мастер по ремонту напольного электрооборудования	МНЭО	

Система управления решает некоторый перечень задач по управлению предприятием или, как в данном случае, цехом. Каждая задача характеризуется некоторым распределением времени возникновения, маршрутом прохождения по элементам системы управления в процессе ее решения и некоторым распределением времени пребывания задачи в каждом из этих элементов. Пусть время

возникновения задач и решения в элементах управления имеют равномерное распределение вероятности в некотором интервале. Для каждой задачи, решаемой в рамках организационной структуры, можно предложить свой маршрут, время решения задачи, а также частоту ее возникновения в производстве (табл. 2). Данная таблица является гипотетической.

Таблица 2

Описание задачи, решаемой организационной структурой	Период возникновения задач ( $T_{\min} - T_{\max}$ ), ч	Маршрут прохождения (№узла, мин. – макс. время решения), мин
Задача 1 (кадровый вопрос)	5–20	(15,10–40), (14,5–20), (15,0–5)
Задача 2 (замена элементов оборудования)	100–1000	(31,10–30), (30,5–10), (29,5–10), (4,1–5), (1,0–5), (2,1–5), (20,5–10), (21,10–40), (20,0–2), (22,60–1400), (2,0–5), (4,0–5), (29,5–10), (30,10–20), (31,30–60)

Например, задача 2 по замене элементов 100–1000 ч после последней замены. Решение о замене элементов оборудования принимается мастер

по ремонту электрооборудования (блок 31) за время 10–30 мин и докладывает об этом старшему мастеру по ремонту электрооборудования (блок 30). Далее процесс передачи информации движется к блоку (29) и от него к блоку (4). Далее начальник цеха (1) принимает решение поручить доставку нового двигателя техническому бюро (20), которое подчиняется зам. начальника цеха по мехоборудованию (2). Далее инженер по комплектации оборудования (21) выясняет, что та-

кого двигателя нет на складе завода. Начальник технического бюро (20) дает распоряжение инженеру по заказам (22) приобрести двигатель у сторонней организации. После этого задача последовательно проходит обратно до мастера по ремонту электрооборудования (31) вместе с новым двигателем.

На рис. 5 представлена структура файла для решения задач организационной структуры копировального цеха РУП «БМЗ».

1	Вопрос мех.оборуд. 1	30-60	(11,10-40), (2,5-20), (1,5-20), (2,5-20), (11,0-5)
2	Замена эл. двигателя подъемного крана	500-2000	(31,10-30), (30,5-10), (29,5-10), (4,1-5), (1,0-5), (2,1-5), (20,5-10), (21,10-40), (20,0-2), (22,60-1400), (2,0-5), (4,0-5), (29,5-10), (30,10-20), (31,30-60)
3	Орг. труда 1	10-30	(5,5-10)
4	Орг. труда 2	30-180	(5,10-20), (1,5-15), (5,20-30)
5	Кадровый вопрос 1	10-30	(6,5-10)
6	Кадровый вопрос 2	30-180	(6,10-20), (1,5-10), (6,20-30)
7	Экономич. вопрос 1	10-30	(7,5-10)
8	Экономич. вопрос 2	30-180	(7,10-20), (1,5-10), (7,20-30)
9	Вопрос охр.труда 1	10-30	(8,5-10)
10	Вопрос охр.труда 2	30-180	(8,10-20), (1,5-10), (8,20-30)
11	Вопрос АБК 1	10-30	(9,5-10)
12	Вопрос АБК 2	30-180	(9,10-20), (9,5-10), (9,20-30)
13	Экономич. вопрос 1	10-30	(10,5-10)
14	Экономич. вопрос 2	30-180	(10,10-20), (1,5-10), (10,20-30)
15	Рем. напольного мех.оборуд.шл.двора 1	10-30	(13,5-10)
16	Рем. напольного мех.оборуд.шл.двора 2	30-180	(13,10-20), (12,20-60), (13,20-30)
17	Рем. кранового мех.оборуд. 1	10-30	(15,5-10)
18	Рем. кранового мех.оборуд. 2	30-180	(15,10-20), (14,30-60), (15,15-30)
19	Рем. гидравл. оборуд. 1	10-30	(16,5-10)
20	Рем. гидравл. оборуд. 2	30-180	(16,10-20), (11,5-10), (16,20-30)
21	Рем. энергетич. оборуд. 1	10-30	(17,5-10)
22	Рем. энергетич. оборуд. 2	30-180	(17,10-20), (11,5-10), (17,20-30)
23	Подготовка производства 1	10-30	(18,5-10)
24	Подготовка производства 2	30-180	(18,10-20), (11,5-10), (18,5-10)
25	Подготовка производства 3	200-300	(18,1-5), (11,10-20), (2,20-30), (11,3-5), (18,5-10)
26	Вопрос напольного мех.оборуд. 1	10-30	(19,5-10)
27	Вопрос напольного мех.оборуд. 2	30-180	(19,10-20), (11,5-10), (19,20-30)
28	Вопрос заказа 1	10-30	(22,1-5)
29	Вопрос заказа 2	30-180	(22,2-10), (20,5-10), (2,10-20), (20,5-10), (22,2-5)
30	Вопрос комплектации 1	10-30	(21,1-5)
31	Вопрос комплектации 2	30-180	(21,2-10), (20,5-10), (2,10-20), (20,5-10), (21,2-5)
32	Вопрос ОПЛ 1	10-30	(26,10-25)
33	Вопрос ОПЛ 2	30-180	(26,2-10), (25,20-30), (24,20-50), (25,20-30), (26,2-5)
34	Вопрос шлак.двора 1	10-30	(28,10-25)
35	Вопрос шлак.двора 2	30-180	(28,2-10), (27,30-60), (3,10-20), (27,5-10), (28,2-5)
36	Рем. кранового эл.оборуд. 1	10-30	(31,5-10)
37	Рем. кранового эл.оборуд. 2	30-180	(31,10-20), (30,30-60), (29,10-20), (30,5-10), (31,15-30)
38	Рем. напольного эл.оборуд. 1	10-30	(33,5-10)
39	Рем. эл.оборуд. эл.привода 2	30-180	(33,10-20), (32,30-60), (29,10-20), (32,20-30), (33,15-30)
40	Вопрос эл.оборуд. 1	120-360	(29,5-10), (4,20-40), (29,5-10)
41	Вопрос эл.оборуд. эл.привода	2500-1000	(29,10-20), (4,30-60), (1,5-20), (4,30-60), (29,15-30)
42	Технологич. вопрос 1	20-40	(23,5-20)
43	Технологич. вопрос 2	30-120	(23,10-20), (3,20-40), (1,5-20), (3,5-10), (23,15-30)

Рис. 5. Структура файла для решения задач организационной структуры

**Результаты моделирования процесса функционирования модели системы управления**

Для наблюдения за протеканием процесса решения задач в моделируемой системе используется схема организационной структуры с изменяющимися характеристиками внутри блоков. Каждый прямоугольный элемент на экране представляет собой элемент управления или подразделение. Подчиненные элементы управления или подразделения располагаются в одной строке, начиная с той позиции по вертикали, которую занимает управляющий ими элемент. Для более компактного вида схемы элементы с меньшим числом подчиненных элементов располагаются правее элементов с большим числом подчиненных в строке элементов управления одного уровня.

Результаты моделирования сохраняются в виде текстового файла на диске. В нем указывается общее время моделирования (имеется в виду модельное время), затем по каждому элементу – количество нерешенных задач; общее время про-

стоя за все время моделирования; время простоя за последний час; время простоя за последние четыре часа.

На рис. 6, 7 приведены два фрагмента работы программы для анализа временного состояния организационной структуры. Как видно из рисунков, функционирование блоков управления характеризуется набором чисел и цветом. Цвет блока свидетельствует о состоянии блока управления. Красный цвет характеризует перегруженность блока управления, синий цвет – неполноту загрузки блока управления, зеленый – нормальную работу и желтый предупреждает о возможном переходе режима управления к следующему. При работе программы цвета блоков изменяются, что соответствует изменению загрузки блоков управления.

Программа позволяет проанализировать динамику степени загрузки блока управления во времени (рис. 8–13). Представленные графические зависимости соответствуют функционированию

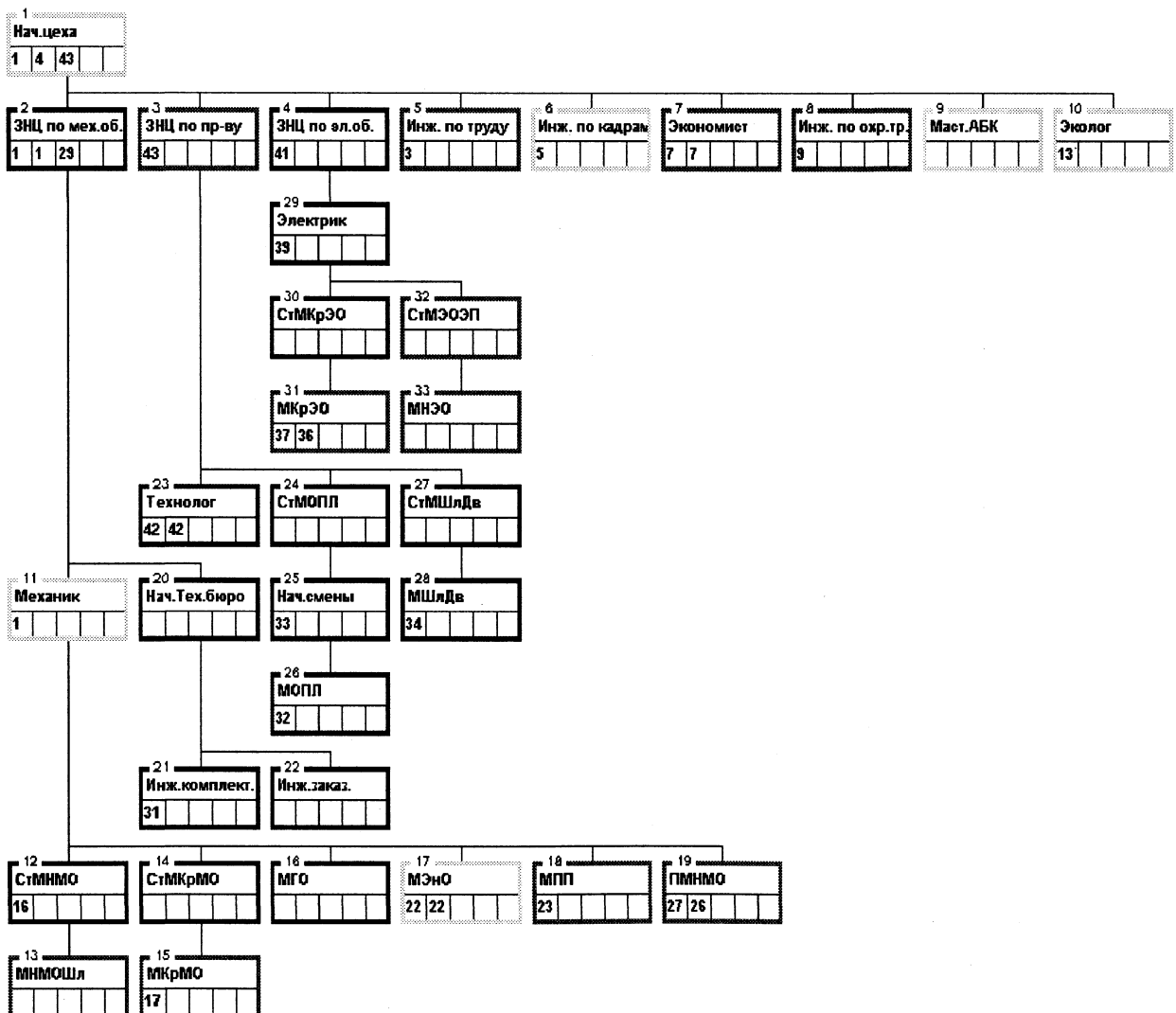


Рис. 6. Фрагмент работы программы для анализа динамики оперативного управления организационной структурой управления предприятия (время – 10 ч работы)

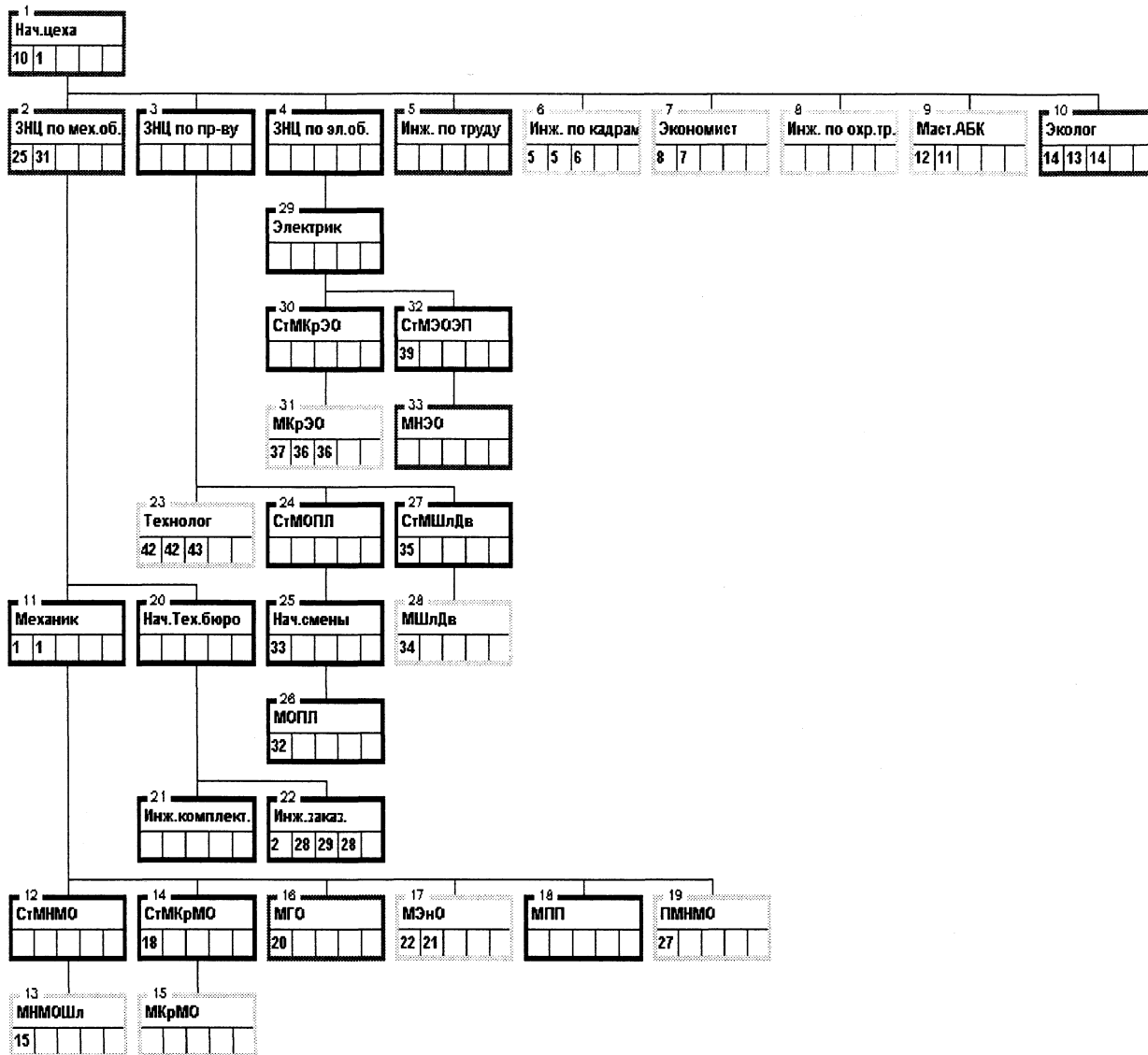


Рис. 7. Фрагмент работы программы для анализа динамики оперативного управления организационной структурой управления предприятия (время – 28 ч работы)

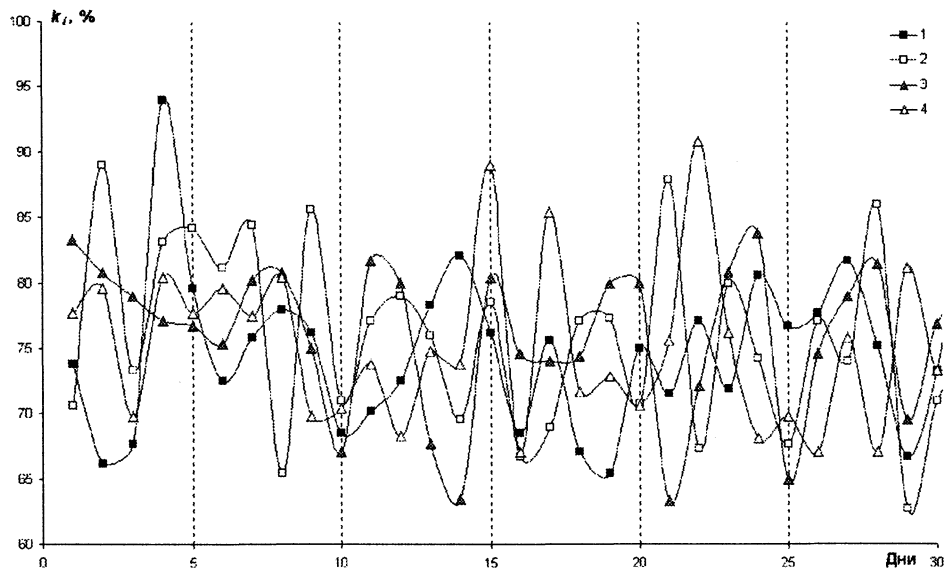


Рис. 8. Динамика коэффициента загрузки блоков управления организационной структуры: 1 – инженер по организации и нормированию труда; 2 – инженер по организации труда и кадрам; 3 – экономист; 4 – инженер по охране труда ТБ

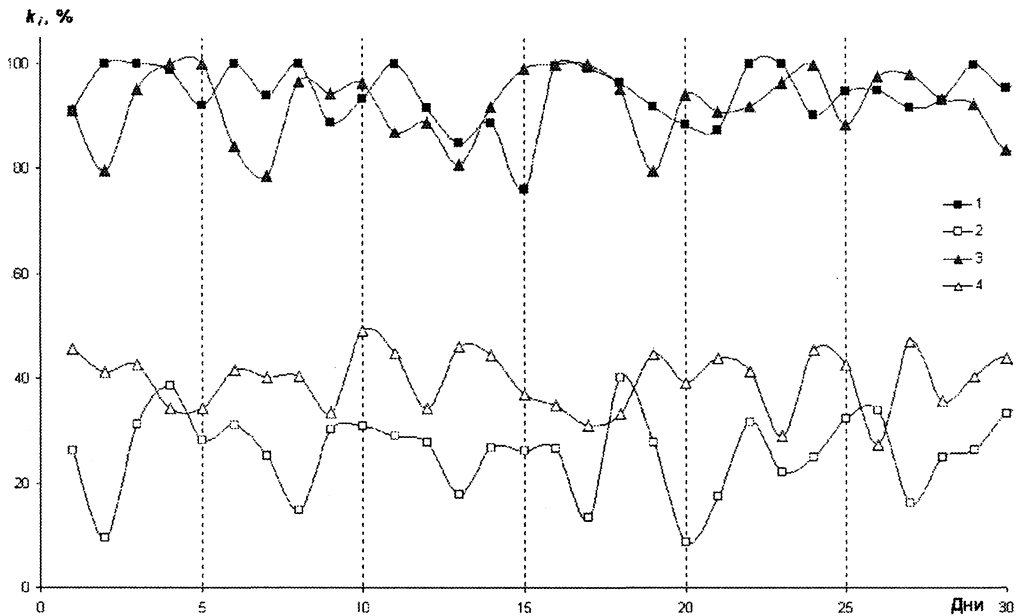


Рис. 9. Динамика коэффициента загрузки блоков управления организационной структуры: 1 – механик цеха; 2 – начальник технического бюро; 3 – технолог цеха; 4 – электрик цеха

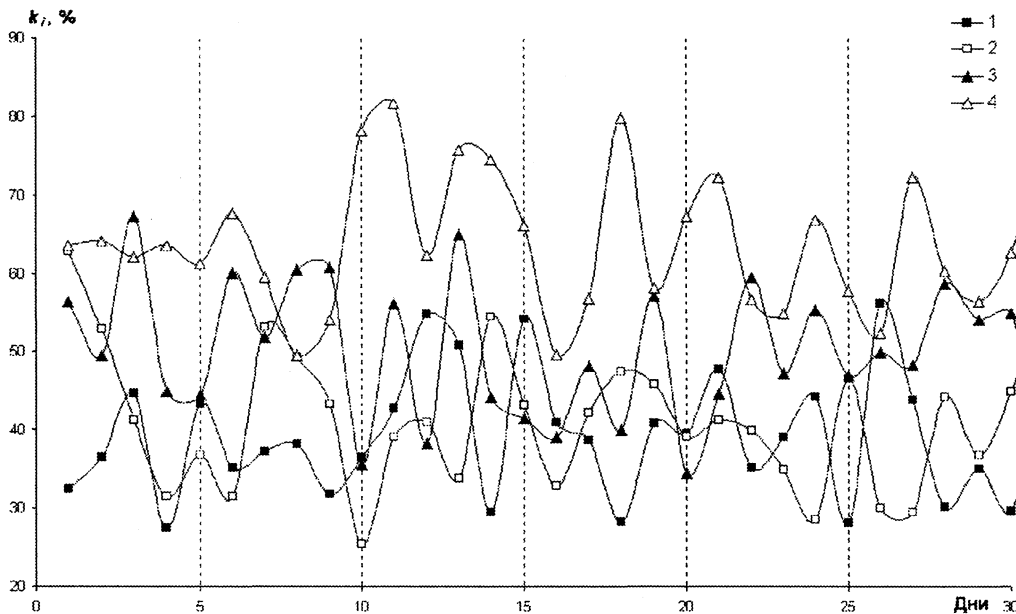


Рис. 10. Динамика коэффициента загрузки блоков управления организационной структуры: 1 – старший мастер по ремонту напольного мехоборудования; 2 – старший мастер по ремонту кранового мехоборудования; 3 – старший мастер по ремонту кранового электрооборудования; 4 – старший мастер по ремонту электрооборудования участка регулируемого электропривода

организационной структуры копрового цеха при заданной управленческой нагрузке. Как видно из рисунка, степень загрузки блока управления изменяется с переменным периодом, т.е. каждый блок управления имеет свой уровень загрузки и изменяется по периоду, вычисляемому по временным характеристикам задач. В данной ситуации показывается возможность анализа динамики работы блоков управления. Эти кривые получены при гипотетической загрузке организационной

структуры управления. Чтобы оценить реальную картину работы блока управления, необходимо собрать исходные данные по числу вопросов, решаемых конкретным блоком, времени его решения и частотам их возникновения. В этом случае по полученным зависимостям можно оценить эффективность и полезность работы каждого блока управления. Еще одним достоинством разрабатываемой модели является возможность оперативного слежения за работой



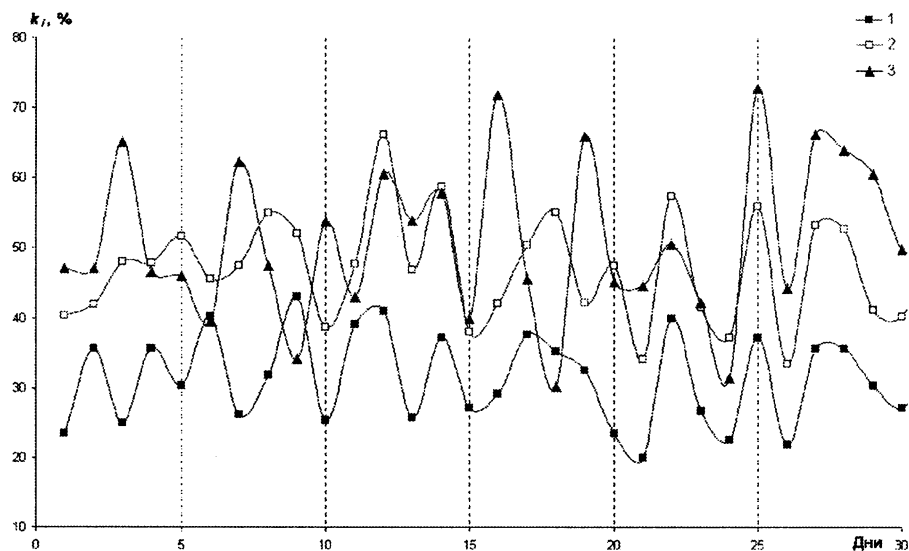


Рис. 11. Динамика коэффициента загрузки блоков управления организационной структуры: 1 – старший мастер ОПЛ; 2 – начальник смены; 3 – старший мастер шлакового двора УОИ

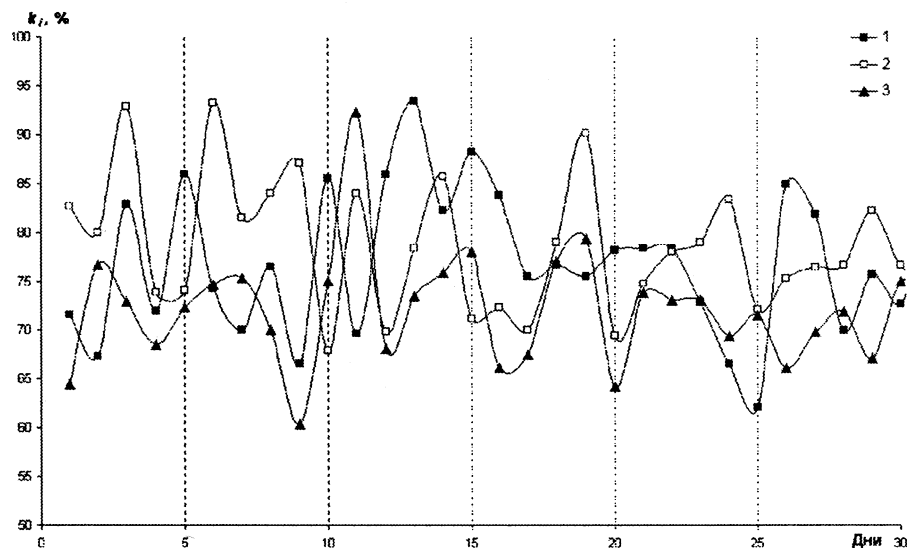


Рис. 12. Динамика коэффициента загрузки блоков управления организационной структуры: 1 – мастер по ремонту напольного мехоборудования шлакового двора УОИ; 2 – мастер по ремонту кранового электрооборудования; 3 – мастер по ремонту напольного электрооборудования

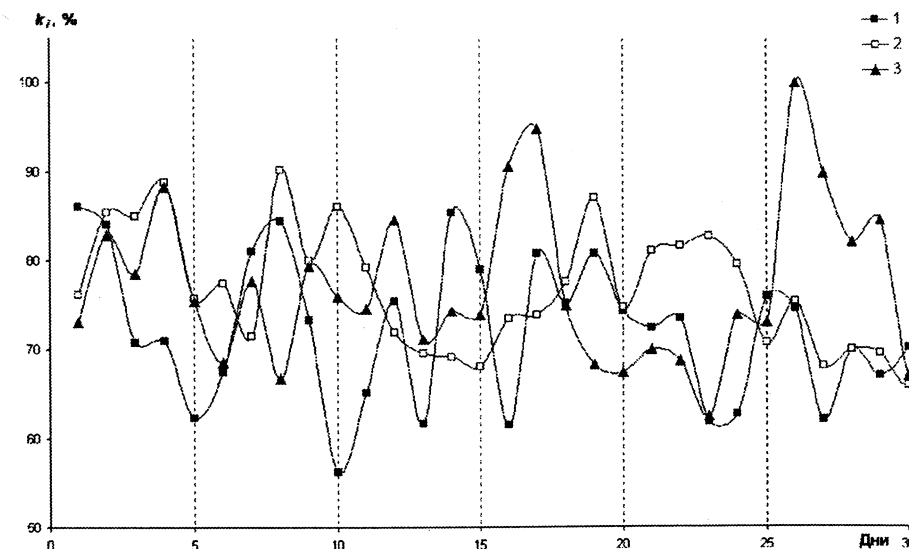


Рис. 13. Динамика коэффициента загрузки блоков управления организационной структуры: 1 – мастер по ремонту кранового мехоборудования; 2 – мастер по ремонту гидравлического оборудования; 3 – мастер по ремонту энергетического оборудования

каждого блока управления, что позволяет оперативно вносить необходимые изменения в процесс управления.

Таким образом, приведенные результаты показывают широкие возможности создания компьютерных систем для процесса управления организационными структурами металлургического предприятия. Это открывает новые возможности в создании оперативных элементов управления с целью повышения эффективности работы промышленного предприятия.

#### Литература

1. Организационные структуры управления производством. М.: Экономика, 1975.
2. Орлов С. А. и др. Опыт создания промышленных комплексов. М., 1972.
3. Рипе Дж. Производственные системы: планирование, анализ, контроль. М.: Экономика, 1972.
4. Андрианов Н.В., Чичко А.Н. Проблемы математического моделирования организационных структур предприятий // Литье и металлургия. 2006. № 1. С. 7–11.
5. Чичко А.Н., Андрианов Н.В. Модели оптимизации управления организационными структурами РУП «Белорусский металлургический завод» // Литье и металлургия. 2006. № 1. С. 27–33.