

УДК 658.514.3:004.021

С.А. Карпаев, С.Н. Ларин

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ БАЛАНСИРОВКИ МОЩНОСТЕЙ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Карпаев Сергей Александрович**, соискатель, окончил Ульяновский государственный технический университет. Инженер по автоматизированным системам управления производства ФНПЦ АО «НПО «Марс». Имеет статьи в области программной автоматизации бизнес-процессов предприятия и оперативно-производственного планирования. [e-mail: neonix3000@mail.ru].

**Ларин Сергей Николаевич**, кандидат технических наук, доцент. Окончил самолетостроительный факультет УлГТУ. Заместитель начальника ПТК-6 – начальник сектора ФНПЦ АО «НПО «Марс». Имеет статьи в области автоматизации технологических процессов. [e-mail: larinmars@rambler.ru].

### Аннотация

В статье предлагается формализованная модель формирования производственно-тематических планов производства (ПТП) на основании автоматизированной верификации технологических операций (ТО). Отражен математический алгоритм расчета распределения нагрузки по рабочим центрам, с привязкой к конкретному оборудованию и исполнителям, а также алгоритм поиска и нахождения взаимозаменяемых участков в процессе проектирования ТО технологического процесса. Описаны основные требования к реализации предлагаемой модели на предприятии с многономенклатурным производством. Показана целесообразность использования данного подхода в рамках интеграции информационных потоков системы автоматизации проектирования технологической подготовки производства и системы оперативно-календарного планирования в процессе проектирования загрузки мощностей производства.

По результатам реализации модели (на базе 1С:Предприятие 7.7) и проведения серии экспериментов формулируется обоснованный вывод об эффективности предлагаемой схемы разработки ПТП предприятий, имеющих в своем составе производства по выпуску многономенклатурной продукции.

Ключевые слова: проектирование загрузки рабочих центров, математическая модель, система планирования, производственно-тематический план.

## BUILDING THE MODEL FOR BALANSING INDUSTRIAL FORCES OF MULTINOMENCLATURE PRODUCTION

**Sergei Aleksandrovich Karpaev**, Postgraduate Student at Ulyanovsk State Technical University; Engineer at Federal Research-and-Production Center Joint Stock Company 'Research-and-Production Association 'Mars'; an author of articles in the field of programming automatization of the enterprise business-processes and manufacturing planning. e-mail: neonix3000@mail.ru.

**Sergei Nikolaevich Larin**, Candidate of Engineering; Associate Professor; graduated from the Faculty of Aircraft Construction of Ulyanovsk State Technical University; Deputy Head of the Complex Production and Engineering Department at Federal Research-and-Production Center Joint Stock Company 'Research-and-Production Association 'Mars'; an author of articles in the field of automatization of business-processes. e-mail: larinmars@rambler.ru.

### Abstract

The article offers a formalized model for constructing issue-related production plans (IRPP) on the basis of automated verification of process operations (PO). It reflects the mathematical algorithm for calculating the load distribution on working centers with reference to the specific equipment and performers as well as the search and finding algorithm for the interchangeable parts in designing PO of a business-process. The basic requirements for the implementation of the proposed model at the enterprise with multinomenclature production are described. The authors show the expediency of using this approach in integration of information flows of the system for automation of production technological preparation design and the system of operational and scheduling planning in design of production capacities load.

As a result of the model implementation (on the basis of 1C: Enterprise 7.7) and carrying out a series of experiments, a reasonable conclusion about the effectiveness of the proposed scheme of developing IRPP for enterprises manufacturing multinomenclature products.

Key words: design of work centers load, mathematical model, planning system, issue-related production plan.

## ВВЕДЕНИЕ

Обработка информации в процессе производства является важной задачей в условиях увеличения выпуска продукции на предприятиях с многономенклатурным производством. За счет использования различных систем обработки данных улучшаются ключевые показатели деятельности организации [1]. В то же время сами процессы обработки данных и реализующие их программные средства с позиций практического применения и эффективности изучены еще недостаточно [2, 3]. В настоящее время достижение максимального и эффективного применения производственных ресурсов становится целью многих научных исследований и разработок [4, 5].

В 70-е гг. XX века был провозглашен подход «индустрии обработки информации», где основной идеологией является модель дискретного производства. В процессе работы должны регулярно планироваться, выполняться и анализироваться все типовые показатели, характеризующие деятельность организации: производственные, технологические, кадровые, экономические и др. В период с конца 90-х – начала 2000-х гг. широкое развитие получили вопросы автоматизации и проектирования загрузки мощностей на базе современных программно-аппаратных средств. С середины 90-х гг. XX века теоретической основой при проектировании иерархии планов является стандарт MRPII (Manufacturing Resource Planning – планирование ресурсов производства), взаимодействующий как сверху вниз, так и снизу вверх. Достоинством таких систем является рост эффективности производства, снижение уровня запасов материалов и комплектующих изделий, снижение затрат [1, 3, 6]. Одним из главных достоинств системы MRPII является взаимодействие с системами: САПР ТПП, PDM, ERP и др. (рис. 1).

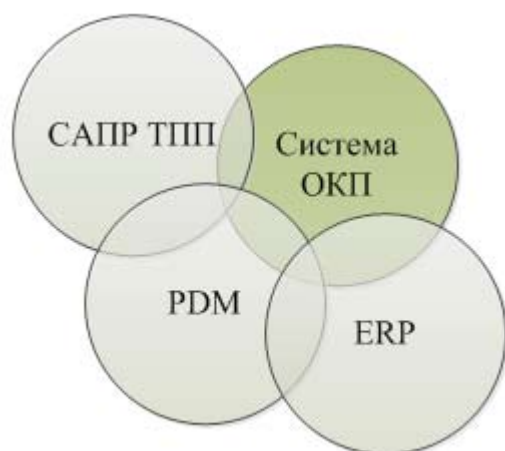


Рис. 1. Взаимодействие систем

Операции, выполняемые на уровне производственного планирования, регистрируются в бухгалтерских документах, таким образом, обеспечивается сквозная деятельность предприятия. Аналитика существующего программного обеспечения показала, что на российском

рынке существуют сотни систем ERP, некоторые достаточно крупные («SAPR3», «BAAN», «Oracle Application», «Галактика», «Парус», «1С:УПП»), некоторые достаточно малые системы («1С», «БЭСТ», «Инфин» и др.) – все эти системы используются в настоящее время на предприятиях с разным видом производства, но не учитывают конкретные положительные практики.

## ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТПП

Основным требованием для систем автоматизированного проектирования (САПР) технологических процессов (ТП) и оперативно-календарного планирования (ОКП) является наличие достоверной первичной информации на нижних (технологическом и производственном) уровнях, реализация проектирования, управления и контроля которых является самой сложной. В настоящее время в полной мере механизмы реализованы в биллинговых системах, обеспечивающих управление в системах предоставления телекоммуникационных услуг (сотовая связь). Однако на предприятиях с многономенклатурным производством ситуация обстоит сложнее, особенно это касается оперативно-производственного планирования (ОПП). ОПП является продолжением технико-экономического планирования и направлено на детализацию производственного плана. В основе ОПП лежит производственная программа на определенный календарный период, разработанная для каждого подразделения. Учётной единицей многономенклатурного производства является производственный заказ, предусматривающий изготовление нескольких экземпляров изделий одного наименования.

Так как в многономенклатурном производстве повторяемость заказов невысокая, затраты на разработку ТП сводят до уровня разработки маршрутных карт [2, 7]. При проектировании планов-графиков учитываются межцеховые технологические маршруты, а ТП уточняют в процессе выполнения на рабочих местах. Нормализация и типизация составных частей заказов позволяют группировать технологические операции (ТО) и параллельно изготавливать номенклатуру большими партиями. Таким образом, используя все принципы серийного производства в процессе позаказного (контрактного) производства, согласование времени выполнения конкретных ТО является сложноформализуемой задачей. Возникают сложности в расчетах, вызванные передачей данных о результатах работы с одного рабочего центра (РЦ) на другой. Из-за разнообразия ТО и видов номенклатур, загрузка оборудования, а также использование материальных и физических ресурсов в таких производствах неравномерны.

Разработанный технологический маршрут является основным документом в процессе проектирования маршрутной схемы заказа. На основе маршрутной схемы заказа строится цикловой график и рассчитывается длительность цикла производства  $T_{ц}^{сб}$  отдельных компонентов изделия [3, 7]. Производится расчет рабочих, участвующих в процессе производства, рассчитывается фонд времени, которым обладает работник  $F_p$ , а также вычисляется общее

суммарное время на производство операций  $\sum t_n$ . Длительность цикла производства  $T_u^{сб}$  рассчитывается по следующей формуле:

$$T_u^{сб} = \frac{\sum t_n}{p * F_p},$$

где  $\sum t_n$  – суммарное необходимое время  $t$  на производство операций;

$p$  – число рабочих, участвующих в процессе выполнения ТО;

$F_p$  – фонд времени на рабочий день одного рабочего.

В результате построения цикловых графиков по заказам строится сводный график изготовления всех заказов на плановый период, предусмотренный производственно-тематическим планом (ПТП) предприятия.

В процессе эксплуатации системы проектирования сменно-суточного плана и ТП выявлено несколько базовых принципов:

- широкая номенклатура одновременно производимых работ;
- отсутствие единой и формализованной нормативной справочной базы норм трудозатрат;
- длительный цикл корректировки ТО и ТП в целом на каждой из стадий изготовления.

Таким образом, можно сделать вывод, что эффективность распределения выполнения ТО по рабочим участкам будет зависеть от возможности использования нормативно-справочной и статистической информации (архив выполненных ТО), использования средств интеллектуального проектирования ТО, а также адаптации современных аппаратно-программных средств и методов планирования к условиям контрактных производств.

### МОДЕЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАГРУЗКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ

В процессе формирования производственных мощностей на определенный плановый период предлагается производить расчет ресурсов производства, а именно: формирование системы РЦ. Материалами и режущими инструментами в данном случае пренебрегаем, т. к. будем считать, что предприятие заблаговременно закупает все необходимое для обеспечения производства. Под определением РЦ принимаем интегрированную группу однородных технических средств (ТС) в пределах производственного подразделения.

Мощность всех ТС имеет следующий вид:

$$M^{TC} = \left\{ M_i^{TC} \mid i = \overline{1, I^{M^{TC}}} \right\},$$

где  $I^{M^{TC}}$  – количество единиц ТС;

$M_i$  – множество, представляющее конкретную  $i$ -ю единицу:

$$M_i = (M_{i1}, M_{i2}, M_{i3}, \dots, M_{in}),$$

где  $M_{i1}$  – наименование ТС;

$M_{i2}$  – инвентарный номер ТС;

$M_{i3}$  – вид выполняемой ТО на ТС;

$M_{in}$  – уникальные характеристики ТО.

Как уже было сказано, информации о ТС недостаточно для формирования РЦ – необходим расчет фонда трудовых ресурсов. Множество рабочих имеет следующий вид:

$$R^{PI} = \left\{ R_i^{PI} \mid i = \overline{1, I^R} \right\},$$

где  $I^R$  – количество рабочих;

$R_i$  – множество, отражающее конкретного  $i$ -го работника

$$R_i = (R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{in}),$$

где  $R_{i1}$  – табельный номер рабочего;

$R_{i2}$  – специализация;

$R_{in}$  – прочие характеристики.

ТС и рабочие распределяются по группам (по признакам взаимозаменяемости выполняемых работ) и принадлежности к структурному подразделению. Производственные подразделения задаем множеством  $F^{PI}$ :

$$F^{PI} = \left\{ F_i^{PI} \mid i = \overline{1, I^F} \right\},$$

где  $I^F$  – количество подразделений;

$F_i^{PI}$  – множество, представляющее конкретное подразделение (цех, участок). Объединенные в группы работники и ТС, именуемые совместно как РЦ, представлены следующим множеством:

$$Z = \left\{ Z_i \mid i = \overline{1, I^Z} \right\},$$

где  $I^Z$  – количество РЦ;

$Z_i$  – множество, отражающее конкретный  $i$ -й РЦ.

В таком случае, множество  $F_i^{PI}$ , отражающее конкретное подразделение, имеет следующий вид:

$$F_i^{PI} = \left\{ F_i^{PIA}, Z_i^{F_i^{PI}} \right\},$$

где  $Z_i^{F_i^{PI}}$  – множество РЦ в конкретном  $i$ -м подразделении;

$F_i^{PIA}$  – множество атрибутов конкретного  $i$ -го подразделения, имеющего вид:

$$F_i^{PIA} = (F_{i1}^{PIA}, F_{i2}^{PIA}),$$

где  $F_{i1}^{PIA}$  – код подразделения (участка, цеха);

$F_{i2}^{PIA}$  – наименование подразделения (участка, цеха).

После формирования системы РЦ производится непосредственный расчет распределения загрузки. Расчет загрузки РЦ предполагает наличие в ТП маршрутной карты, где указан код РЦ, который будет выполнять операцию. Однако на практике ситуация оказывается такова, что ТС указывается укрупненно, и в ТО указывается только подразделение–изготовитель.

В связи с этим предлагается следующий подход:

- необходимо сформировать на предприятии в производстве электронный архив выполнения ТО;
- для каждого РЦ заранее определить перечни оборудования;
- для каждого вида оборудования определить выполняемые ТО;
- определить взаимосвязь исполнителей (рабочих) с оборудованием (или рабочим местом).

При наличии схемы «РЦ-Оборудование-ТО-Номенклатура-исполнитель» РЦ можно определить по наименованию операции ТП.

В процессе проектирования ТП автоматизированным путем, благодаря обработке информации из архива выполнения ТО системы ОКП, разработчику ТП предоставляется маршрут, где операция может быть выполнена быстрее, с точки зрения расположения одинаковых по функциям, но разных РЦ. В процессе проектирования построения календарного плана, а также в процессе загрузки РЦ, данные САПР технологической подготовки производства (ТПП) будут использоваться для выбора рационального ТП и проекции маршрутной карты выбранного ТП в план-график (рис. 2). Таким образом, алгоритм поиска альтернативного РЦ будет реализован как в процессе проектирования плана-графика загрузки РЦ, так и в процессе проектирования ТП [8].

Одна и та же ТО может быть выполнена на разных РЦ. Основную роль в процессе проектирования загрузки РЦ служит маршрутная карта ТП, где указан основной исполнитель на каждой ТО. Основным участком-исполнителем ТО может быть излишне перегружен работой, т. к. оборудование цеха является уникальным и передача задачи на другой участок невозможна. Для решения проблемы, связанной с уникальностью РЦ (например, имеется всего одно ТС на производстве), предлагается включить в справочник оборудования уникальные ТО и закрепить их за конкретным узкоспециализированным оборудованием.

Руководствуясь сформулированными принципами расчета РЦ, введем множество выполняемых на производстве ТО ( $O$ ):

$$O = \{O_i \mid i = 1, I^O\},$$

где  $I^O$  – количество операций;

$O_i$  – множество, представляющее конкретную  $i$ -ю ТО:

$$O_i = (O_{i1}, O_{i2}, \dots, O_{in}),$$

где  $O_{i1}$  – код ТО;

$O_{i2}$  – наименование ТО. В таком случае множество, представляющее конкретный РЦ, ( $Z$ ) будет иметь следующий вид:

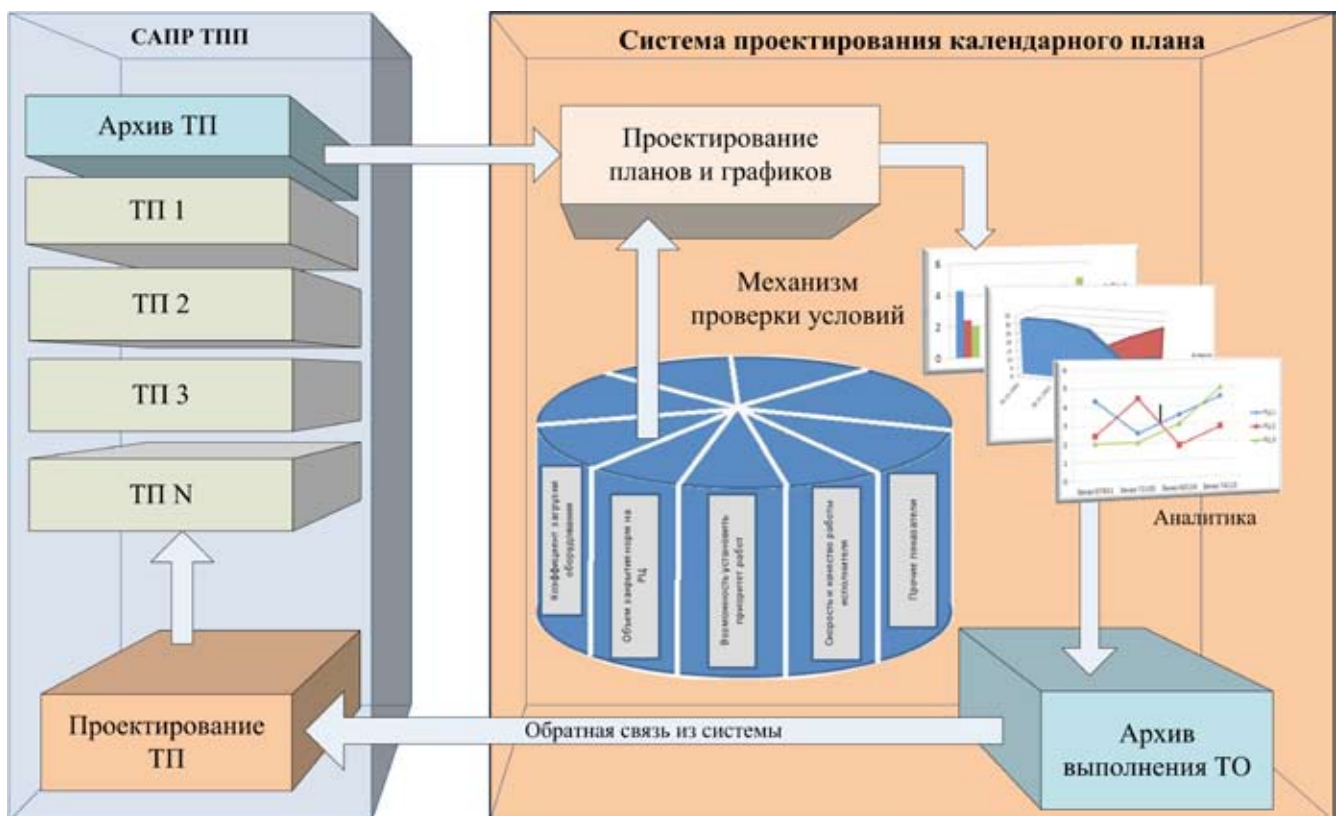


Рис. 2. Информационные потоки системы САПР ТПП и системы ОКП

$$Z_i = \{Z_i^A, M^{Z_i}, R^{Z_i}, O^{Z_i}\},$$

где  $M^{Z_i}$  – множество единиц ТС конкретного  $i$ -го РЦ;

$R^{Z_i}$  – множество рабочих, закрепленных за конкретным  $i$ -м РЦ;

$O^{Z_i}$  – множество ТО, выполняемых на  $i$ -м РЦ;

$Z_i^A$  – множество атрибутов  $i$ -го РЦ;

$$Z_i^A = \{Z_{i1}^A, Z_{i2}^A, \dots, Z_{in}^A\},$$

где  $Z_{i1}^A$  – код РЦ;

$Z_{i2}^A$  – наименование РЦ.

Множество номенклатурных позиций запланированных к изготовлению, представим в виде множества:

$$P = \{P_n \mid n = \overline{1, N^P}\},$$

где  $N^P$  – количество номенклатурных позиций;

$P_n$  – множество, представляющее конкретную  $n$ -ю номенклатурную позицию:

$$P_n = \{P_n^A, F^{P_n}, O^{P_n}\},$$

где  $P_n^A$  – множество атрибутов номенклатурной позиции;

$F^{P_n}$  – множество подразделений, участвующих в изготовлении номенклатурной позиции;

$P_n$  – укрупненный технологический маршрут.

$$F^{P_n} = \{F_i^{P_n} \mid n = \overline{1, I^{F^{P_n}}}\},$$

где  $I^{F^{P_n}}$  – количество подразделений, участвующих в изготовлении номенклатурной позиции по укрупненному технологическому маршруту  $P_n$ ;

$F_i^{P_n}$  – множество, представляющее  $i$ -е подразделение;

$$O^{P_n} = \{O_i^{P_n} \mid n = \overline{1, I^{O^{P_n}}}\},$$

где  $I^{O^{P_n}}$  – количество операций изготовления номенклатурной позиции по укрупненному технологическому маршруту  $P_n$ ;

$O_i^{P_n}$  – множество, представляющее конкретную  $i$ -ю ТО.

В процессе производства часто происходит перераспределение задач с одного РЦ на альтернативный РЦ. Перераспределение ТО на другой РЦ возможно только при наличии смежного РЦ (например, с другого участка) и в случае если функции смежного РЦ покрывают функции основного РЦ. Так как в настоящей работе исследовано предприятие с относительно небольшой производственной площадью, поэтому в качестве критерия выбора альтернативного РЦ принят критерий степени загрузки РЦ ( $H$ ). При построении загрузки мощностей также может быть использован критерий, определяющий приоритетность выбора РЦ по расстоянию [3, 9]. В настоящей рабо-

те расположение РЦ определено в рамках производственного помещения, где расстояние не имеет значимый вес. Определим бинарные отношения на множестве РЦ  $Z$ . Для формализации критерия степени загрузки используем декартово произведение  $Z \times Z$ . Таким образом, множество отношений ( $H$ ) можно задать:

$$H = \{H_i \mid i = \overline{1, I^H}\},$$

где  $H_i$  – множество, представляющее  $i$ -е отношение;

$$I^H = |H|;$$

$$H_i = \{h_i^l, h_i\},$$

где  $h_i^l$  – незагруженное время между РЦ, соответствующее  $i$ -му отношению;

$$h_i = \{Z_x, Z_s\} \text{ – кортеж декартова произведения,}$$

где  $Z_x$  – основной РЦ,  $Z_s$  – альтернативный РЦ.

С целью разработки алгоритма равномерной загрузки оборудования необходимо ввести функции.

Функция ( $\oint O_i^{P_n}$ ) фиксирует за РЦ ( $Z_j$ ) выполнение конкретной ТО номенклатурной позиции (НП):

$$O_i^{P_n} \xrightarrow{\oint O_i^{P_n}} Z_j.$$

Для построения полноценного алгоритма (рис. 3) требуется ввести переменные:  $N$  – счетчик НП;  $M$  – счетчик ТО;  $k$  – счетчик участка в ТП;  $z$  и  $\bar{z}$  – индексы РЦ расчетного и альтернативного;  $l$  – значение времени между ТО РЦ;  $t$  – количество РЦ, на которых возможно выполнить ТО.

## РЕАЛИЗАЦИЯ И АПРОБАЦИЯ

Алгоритм распределения ТО реализован в системе проектирования проектных решений на платформе 1С:Предприятие.

Концепция структуры системы проектирования ОКП (рис. 4) предполагает восемь разделенных по функциональности блоков. При использовании обеих концепций (локального и системного варианта) производится аналитика всего имеющегося на момент запуска всех ресурсов производства, контроль за которыми ведется системой. Блок анализа плана («Б1») производит комплексную сверку данных, определяет состояние ресурсов. Блок расчета ресурсов производства («Б4») и блок определения времени выполнения («Б3») запускаются до работы блока предварительного моделирования и имитации («Б2»). Блоки обратной связи с САПР ТПП («Б8») и блок взаимодействия с базой практик («Б5») задействованы в процессе предварительного моделирования и непосредственного формирования проектного решения ОКП. Алгоритм распределения ТО задействован в блоке предварительного моделирования и имитации («Б2»).

Результатом работы алгоритма в системе ОКП служит перечень ТО на участок (цех) и визуализированная диаграмма Ганта (рис. 5). Также на каждый вид ТО и на каждый участок формируются численные значения плана в виде фонда рабочего времени.

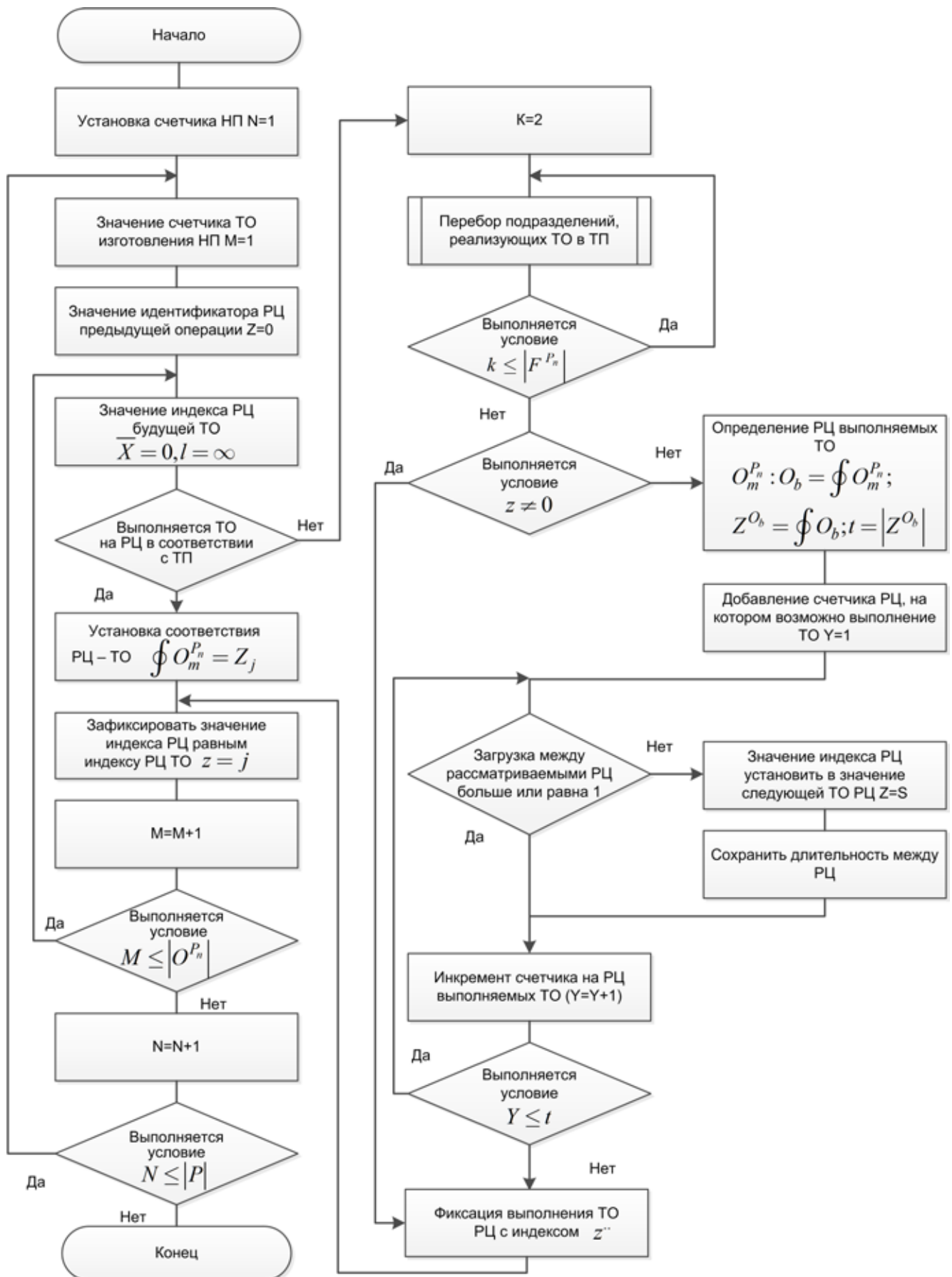


Рис. 3. Блок-схема алгоритма распределения ТО по РЦ

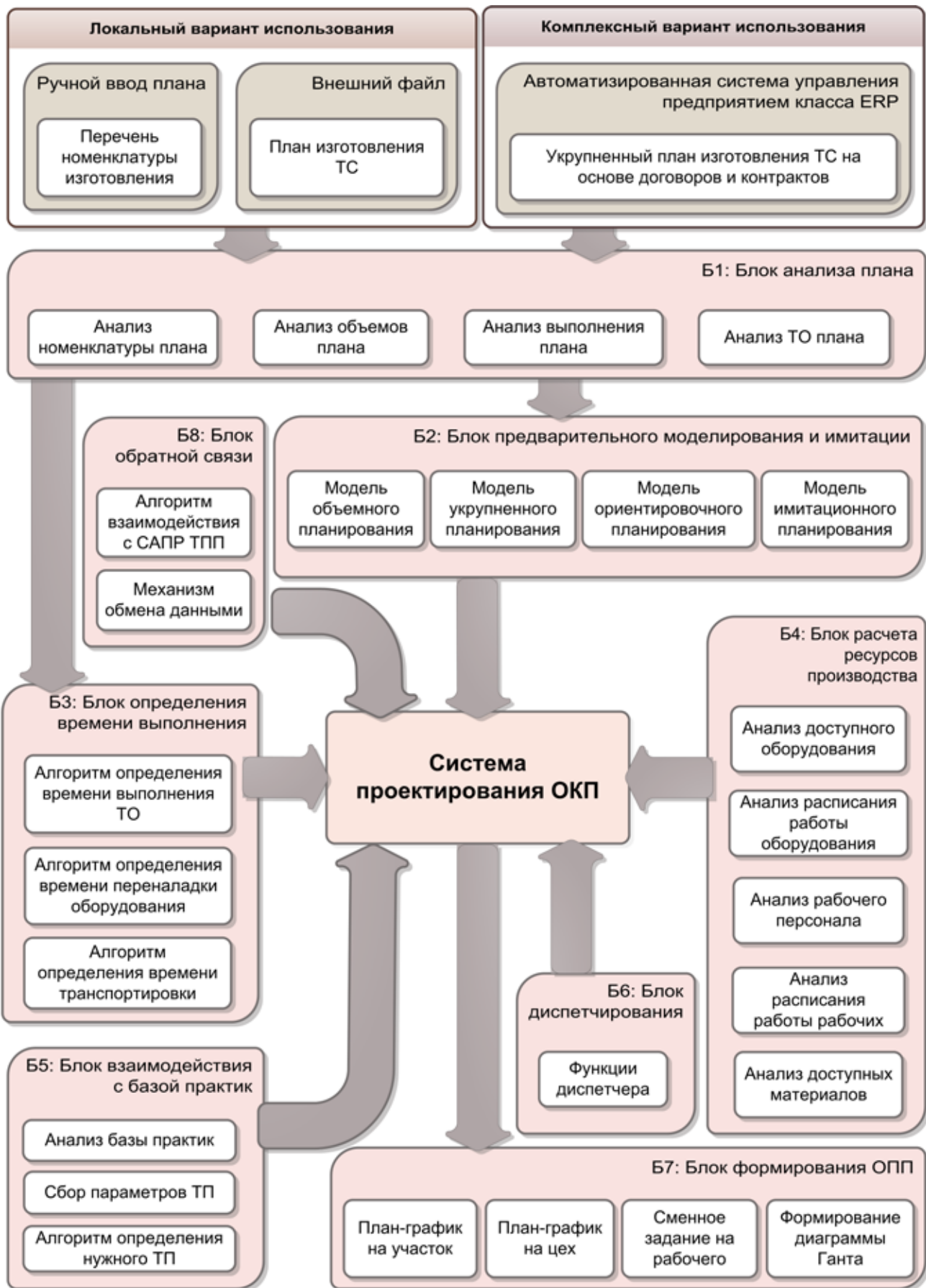


Рис. 4. Состав системы проектирования ОКП

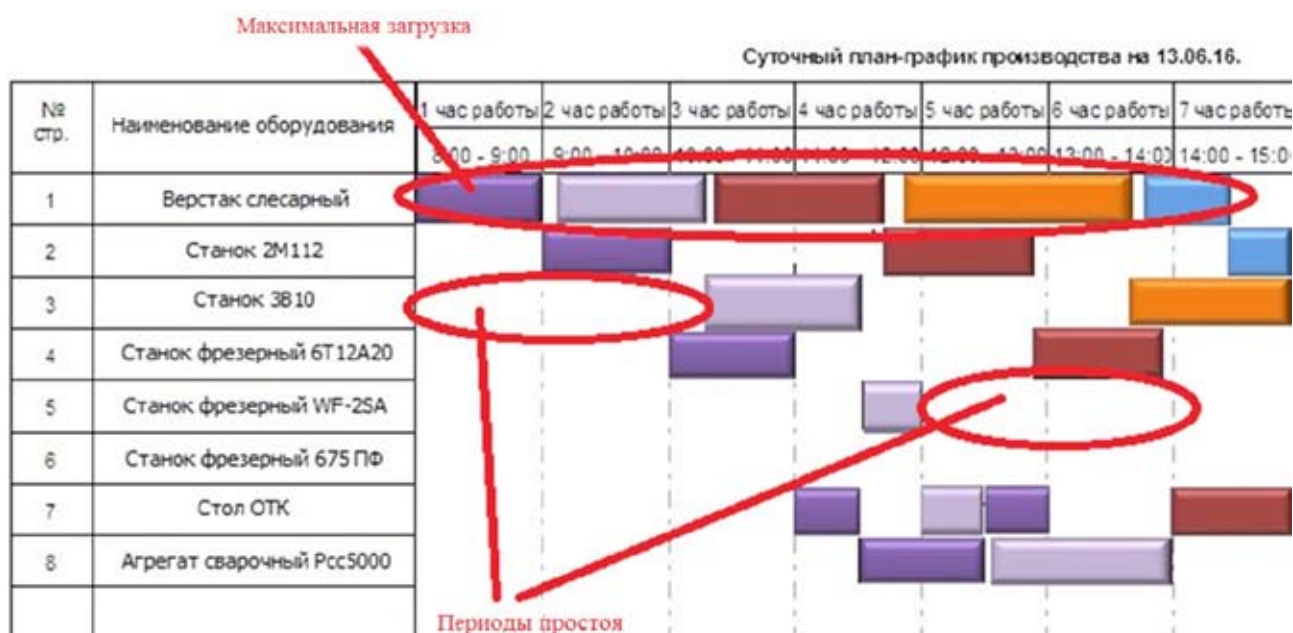


Рис. 5. Диаграмма загрузки РЦ на 8 РЦ



Рис. 6. Диаграмма загрузки РЦ на 6 РЦ

На диаграмме Ганта, иллюстрирующей эксперимент, станок «2М112» и «3В10» с однотипными функциями загружается попеременно (отсутствует загрузка на один РЦ), т. е. производится поиск альтернативного РЦ и таким образом перераспределяется нагрузка на оборудование. «Агрегат сварочный Pcc5000» является уникальным оборудованием, нагрузка на который распределяется в данном случае с двух заказов.

Если произвести останов двух станков и перестроить план (рис. 6), то задачи, планируемые на остановленных станках, будут распределены на аналогичные по функционалу станка в новом плане-графике.

### Вывод

В процессе проектирования ПТП производства осуществляется расчет загрузки РЦ за счет данных архива САПР ТПП. Выполнение функции производственного проектирования осуществимо при наличии эффективной системы оперативного учета, а также архива ТПП. Пред-

лагаемый подход и основанная на нем модель проектирования распределения нагрузки на РЦ отвечает специфике функционирования предприятия с многоименным видом производства. Подход способствует более эффективному использованию ресурсов (РЦ), росту уровня производительности и уменьшению себестоимости, подтвержденных на экспериментах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта МРPII. – СПб. : Питер, 2003.
2. Татовосов К.Г. Основы оперативно-производственного планирования на машиностроительном предприятии. – Л. : Машиностроение, 1985. – 278 с.
3. Костров А.В. Основы информационного менеджмента. – М. : Финансы и статистика, 2004.
4. Александров Д.В., Костров А.В. Методы и модели информационного менеджмента. – М. : Финансы и статистика, 2007. – 336 с.



5. Шишкин В.В., Кандаулов В.М. Система автоматизированного проектирования сложных машиностроительных изделий на базе паттернов проектирования // Автоматизация процессов управления. – 2011. – № 3 (25). – С. 56–62.

6. Чудаков А.Д., Фалевич Б.Я. Автоматизированное оперативно-календарное планирование в гибких комплексах механообработки. – М. : 1986. – 224 с.

7. Михайлов А.В., Расторгуев Д.А. Основы проектирования технологических процессов машиностроительных производств. – Старый Оскол : ТНТ, 2010. – 336 с.

8. Карпаев С.А., Ларин С.Н. Аналитика выполнения задач многономенклатурного производства в рамках системы оперативно-календарного планирования // Матер. XIV молодежной науч.-техн. конф. «Взгляд в будущее». – СПб. : 2016. – С. 216–222.

9. Кондаков А.И. САПР технологических процессов : учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М. : Академия, 2007. – 272 с.

#### REFERENCES

1. Gavrilo D.A. *Upravlenie proizvodstvom na baze standart MPRII* [Production Management on the Basis of the MPRII Standard]. St. Petersburg, Piter Publ., 2003.

2. Tatevosov K.G. *Osnovy operativno-proizvodstvennogo planirovaniia na mashinostroitel'nom predpriatii* [Fundamentals of Operational and Production Planning at the Machine-Building Enterprise]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1985. 278 p.

3. Kostrov A.V. *Osnovy informatsionnogo menedzhmenta* [Fundamentals of Information Management]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2004.

4. Aleksandrov D.V., Kostrov A.V. *Metody i modeli informatsionnogo menedzhmenta* [Methods and Information Management Model]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2007. 336 p.

5. Shishkin V.V., Kandalov V.M. *Sistema avtomatizirovannogo proektirovaniia slozhnykh mashinostroitel'nykh izdelii na baze patternov proektirovaniia* [Computer-Aided Parametric Design System for Complex Machine-Building Products, Based on an Innovation Design-Pattern Methodology]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2011, no. 3 (25), pp. 56–62.

6. Chudakov A.D., Falevich B.Ya. *Avtomatizirovannoe operativno-kalendar'noe planirovanie v gibkikh kompleksakh mekhanooobrabotki* [Automated Operational Scheduling in Flexible Machining Complexes]. Moscow, 1986. 224 p.

7. Mikhailov A.V., Rastorguev D.A. *Osnovy proektirovaniia tekhnologicheskikh protsessov mashinostroitel'nykh proizvodstv* [Fundamentals of Designing the Machine-Building Production Processes]. Stary Oskol, TNT Publ., 2010. 336 p.

8. Karpayev S.A., Larin S.N. *Analitika vypolneniia zadach mnogonomenklatur'nogo proizvodstva v ramkakh sistemy operativno-kalendar'nogo planirovaniia* [Analytics Implementation of Multiproduct Manufacturing Tasks Within the System Operational and Scheduling]. *Mater. XIV molodezhnoi nauch.-tekhn. konf. 'Vzgliad v budushchee'* [Proc. the 14th Youth Sci. and Techn. Conf. 'Looking into the Future']. St. Petersburg, 2016, pp. 216–222.

9. Kondakov A.I. *SAPR tekhnologicheskikh protsessov. Uchebnik dlia stud. vyssh. ucheb. zavedenii* [SAPR for Engineering Processes. Textbook for Higher Educational Institutions]. Moscow, Akademiia Publ., 2007. 272 p.