УДК 621.311:658.26

Б.В. ПАЛЮХ, Г.Б. БУРДО

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ ЕДИНИЧНОГО И МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Приведены результаты исследований производственной системы машиностроительных предприятий, выпускающих изделия малыми партиями. Определены принципы создания комплексных систем проектирования и управления технологическими процессами в машиностроении в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Ключевые слова: *системы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении, управление технологическими процессами в машиностроении.*

Введение. К настоящему времени в отечественном машиностроительном комплексе произошли значительные структурные перестройки, в связи с которыми в первую очередь изменились пропорции предприятий, относимых к различным типам производств. Если до середины 80-х годов в машиностроении до 90% всего объема продукции выпускалось предприятиями массового, крупно- и среднесерийного типа производства, то к 2004-2006 годам доля указанных предприятий и фирм уменьшилась до 40-50%.

Следовательно, оставшаяся и весьма значительная часть изделий машиностроения выпускается в условиях мелкосерийного и единичного типа производства. Надо ради справедливости отметить, что подобная тенденция в явном виде наблюдается и за рубежом и продиктована требованиями потребителей продукции иметь именно то, что надо им в нужное время и в нужном сейчас количестве.

Мелкосерийное и единичное производство очень наглядно характеризуется таким показателем, как коэффициент закрепления операций (ГОСТ Р 50995.3.1.-96), под которым понимается число различных технических операций механической обработки, выполненных на одном рабочем месте в течение месяца. Для мелкосерийного производства он равен 20 – 40, для единичного – более 40.

Единичное и мелкосерийное производство также отличается широкой номенклатурой выпускаемых изделий и малыми партиями их выпуска (от 30 … 50 штук до единичных образцов).

Известно, что крупносерийное и массовое производство (где соответствующий им коэффициент закрепления операций не превышает 10) отличается от других несравненно лучшими технико-экономическими показателями, что предопределяется в первую очередь глубиной и продуманностью конструкторской и технологической подготовки производства, выполняемых с помощью специализированных САПР, современных и точных методов организации и управления.

Такие предпосылки успешной деятельности объясняются наличием достаточного запаса времени для осуществления разработок и малой динамикой производственной системы в связи с достаточно постоянной номенклатурой и большими партиями выпускаемых изделий.

Учитывая, что в недавнем прошлом продукция указанных производств занимала доминирующее положение, усилия исследователей и разработчиков систем автоматизации конструкторской и технологической подготовки, управление технологическими процессами были направлены, вполне естественно, на обеспечение данных потребностей предприятий массового, крупно- и среднесерийного производства. В целом это направление автоматизации инженерного труда развивалось вполне успешно, широко внедрялись системы конструкторской подготовки изделий (САПР, CAD), автоматизированные системы проектирования технологических процессов (САПР ТП, АСТПП, CAM) или их сквозные варианты CAD/ CAM (Компас – Автопроект, T–Flex, Gdge CAM и др.), а также системы управления технологических процессов (АСУ ТП). Попытка внедрения их на предприятиях единичного и мелкосерийного производства столкнулась с рядом вполне обычных трудностей.

АСУ ТП оказались непригодными в связи с необходимостью перебора большого числа вариантов распределения технологических операций по рабочим местам в связи с широкой номенклатурой выпускаемых изделий и разными сроками изготовления, так как при их создании не предусматривались такие возможности. Системы не предполагали и постоянный учет динамики производственной ситуации, складывающейся в производственных подразделениях, и планирование осуществлялось на достаточно большие периоды времени (до 2-3 месяцев), а не на глубину до 2-3 дней, как это требуется в мелкосерийном и единичном производстве. Применение того же самого математического аппарата оказалось и неоправданным в связи с большой трудоемкостью вычислений, необходимостью искусственного уменьшения размерности задачи и т.п.

С другой стороны, применение АСУ ТП требует знания точного времени выполнения технологических операций. Значительный разброс временных данных либо укрупненное определение сводит на нет саму идею управления. Отсутствие детального описания операций, приближенное нормирование, что отличает мелкосерийное и единичное производство, и явилось вторым сдерживающим фактором для внедрения АСУ ТП.

Вполне логичной могла бы показаться попытка исправить эту ситуацию с помощью различного типа САПР ТП. Однако опыт их использования показал, что в связи с малой степенью формализации принимаемых в них технологических решений сокращение трудоемкости разработки новых технологических процессов составляет до 20 – 30% по сравнению с обычными «ручными» методами проектирования, к тому же качество разработок целиком определяется квалификацией пользователя, что предопределяет необходимость доработок в процессе внедрения [1,2].

Подобная методология построения (творческие задачи решает проектировщик-пользователь, а чисто расчетные, информационно-поисковые и оформление документации – средства вычислительной техники) в силу большой трудоемкости расчетов вызывает необходимость многократного увеличения численности технологических подразделений, необходимой для выполнения подробного, детального проектирования.

Постановка задачи. В связи с вышеизложенным проблема создания систем автоматизированного проектирования и управления технологическими процессами в единичном и мелкосерийном производстве является актуальной, и от ее решения во многом зависит эффективность функциониро-

вания значительного числа предприятий и фирм. Очевидно, исходным звеном для исследования и разработки указанных систем является анализ и выявление элементов производственной системы предприятий и связей между ними в различные временные интервалы (подготовка запуска изделий, запуск изделий, оперативное управление технологическими процессами), на основании которого выявляются функции, выполняемые каждым элементом, осуществляемые ими виды информационных преобразований и структура входной и выходной информации.

Методы исследования. Исследования производственной системы проводились на основе теоретико-множественного подхода теории систем и теории интервального анализа [3,4]. Указанный аппарат применялся для выявления иерархической структуры производственной системы, типа процедур, выполняемых ее элементами, и их взаимосвязи, а также для выявления структурного алгоритма управления технологическими подразделениями, позволяющего оперативно реагировать на изменения производственной ситуации. Применение интервального анализа обеспечивает гарантированное управление в условиях неопределенности.

Результаты исследования и их обсуждение. Были установлены связи, реализуемые между подсистемами технологической системы (технологическими подразделениями, подсистемами проектирования технологии, подсистемами управления технологическими процессами, контролирующими подразделениями), их иерархия. Производственная система была рассмотрена с точки зрения управления (рис.1), что позволило выявить функции ее отдельных подсистем, их входные и выходные параметры, выявить основные принципы, реализуемые при разработке САПР ТП и АСУ ТП.

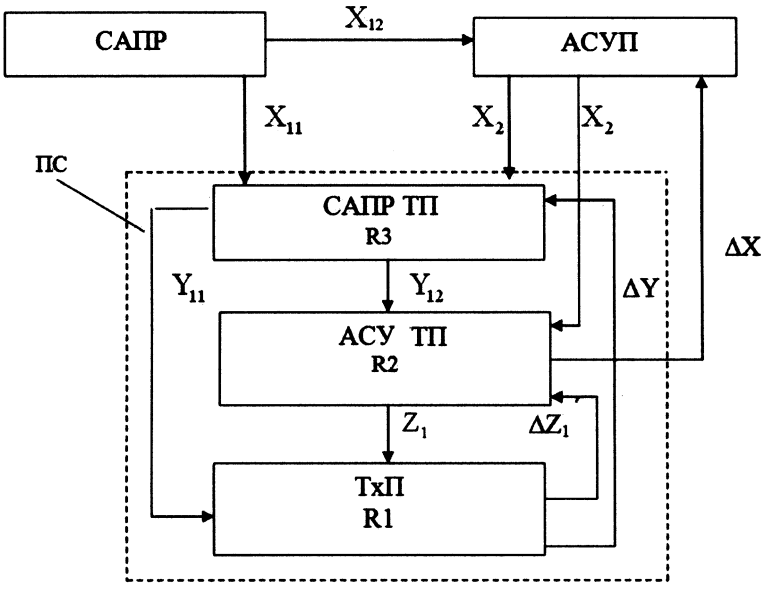

Рис.1. Структура управления работой технологических подразделений

Это позволило рассмотреть производственную систему (ПС) в иерархической взаимосвязи САПР ТП, АСУ ТП и технологических подразделений (ТхП). Информационные связи (входы и выходы с точки зрения управления) имеют следующий смысл. $X_{11} = \{x_{11i}\}$ – множество параметров, определяющих информацию от САПР (сведения, содержащиеся в чертежах изделий, необходимые для разработки технологий); $X_{12} = \{x_{12j}\}$ – множество параметров, характеризующих информацию от САПР, необходимой для заказа материалов и т.п.; $X_2 = \{x_{2k}\}$ – множество параметров, определяющих срок выполнения заказов-заданий; $Y_{11} = \{y_{31m}\}$ – параметры от САПР ТП, необходимой для задания алгоритмов выполнения действий на рабочих местах; $Y_{12} = \{y_{32n}\}$ – множество параметров, описывающих последовательность операций и их длительность, требуемые наладки оборудования и т.п.; $Z_1 = \{z_{1p}\}$ – множество параметров календарных планов выпуска изделий как результат функционирования АСУ ТП; $\Delta Z_1 = \{\Delta z_{1q}\}$ – множество параметров, характеризующих обратную связь по отклонениям от календарного плана и фактическому состоянию ТхП; $\Delta Y = \{\Delta y_c\}$ – параметры обратной связи по загрузке оборудования и рабочих мест в ТхП; $\Delta X = \{\Delta x_f\}$ – множество параметров, характеризующих отклонения от графиков выполнения заказов. Каждое множество параметров было определено, функции каждого элемента (оператора) производственной системы выявлены на основе указывавшихся выше подходов следующим образом:

$$\{R_{11}\}: Y_{11} \times Z_1 \rightarrow \Delta Z_1; \{R_{12}\}: Y_{11} \times Z_1 \rightarrow \Delta Y;$$

$$\{R_{21}\}: Y_{12} \times X_2 \times \Delta Z_1 \rightarrow Z_1;$$

$$\{R_{22}\}: \Delta Z_1 \times X_2 \rightarrow \Delta X; \{R_{31}\}: X_{11} \times X_2 \rightarrow Y_{11};$$

$$\{R_{32}\}: X_{11} \times X_2 \times \Delta Y \rightarrow Y_{12},$$

где $(\{R_{11}\},\{R_{12}\}) \subset R1$, $(\{R_{21}\},\{R_{22}\}) \subset R2$, $(\{R_{31}\},\{R_{32}\}) \subset R3$ – множества функций ТхП, АСУ ТП и САПР ТП соответственно.

Для описания каждой функции применялись определенные наборы значений параметров.

Выявлены следующие принципы создания САПР ТП и АСУ ТП, которые можно разбить на группы:

а) принципы, которым должна соответствовать каждая из подсистем;

б) принципы, предъявляемые к обеим подсистемам как единому целому.

Рассмотрим их в такой же последовательности.

Принципы, предъявляемые к САПР ТП:

1. Сокращение трудоемкости технологической подготовки производства, т.е. времени участия человека за счет высокой степени формализации процесса принятия решений путем применения эвристических моделей (принцип эвристичности).

2. Подетальное, вплоть до переходов и рабочих ходов, представление технологических процессов с точными затратами времени на их осуществление. Это весьма важное требование, так как с позиций управления технологический процесс задает, по существу, временной способ функционирования рабочего оборудования, независимо от того, как оно управляет-

ся, что предопределяет обоснованные затраты времени на осуществление этого функционирования и точность моделей управления (принцип детализации).

3. Учет изменения производственной ситуации в технологических подразделениях, что подразумевает гибкость в проектировании технологических процессов, учитывая, что ее динамичность в условиях единичного и мелкосерийного производства высока (принцип гибкости).

4. Возможность обучения системы, т.е. накопление и обобщение опыта разработок и его использование в последующей деятельности. Это позволит не просто запоминать проделанные разработки (учитывая широкую номенклатуру деталей и их возможную неповторяемость, это зачастую нецелесообразно), а получать некие новые знания, что позволяет трактовать это требование как наличие элементов искусственного интеллекта (принцип обучения).

Принципы создания АСУ ТП:

1. Быстрота расчетов, учитывая необходимость частей корректировки и уточнения графиков прохождения деталей по операциям. Очевидно, использование даже методов упорядочения полных переборов недопустимо, а требуются эвристические алгоритмы поиска решений (принцип эвристичности).

2. Возможность гибкой перестройки процесса принятия решения по результатам анализа текущего состояния в производственных подразделениях путем переформирования приоритетов в эвристических правилах запуска деталей (принцип учета текущего состояния).

3. Возможность обучения, то есть возможность выработки правил принятия решения на основе анализа опыта функционирования и распознавания ситуаций (принцип обучения).

Принципы, относимые к системам как единому целому:

1. Учитывая, что САПР ТП задает алгоритмы - последовательность выполнения действий в технологических операциях и продолжительность функционирования управляемых объектов (рабочие места производственного подразделения), а АСУ ТП определяет время начала и окончания каждой технологической операции, выполняемой на конкретных рабочих местах технологических подразделений (ТхП), при этом процесс осуществляется практически в режиме реального времени, а также факт учета динамики производственной ситуации одной и той же технологической системы по ряду идентичных параметров, вполне логичным будет требование соблюдения принципа комплексности, т.е. их увязки в рамках единой проектирующе-управляющей системы, что и было представлено на рис.1.

2. Второй общий принцип исходит из необходимости отслеживания жизненного цикла изделия и учета информации о всех типах преобразования, т.е. из необходимости реализации концепции компьютерно-интегрированных производств на основе интегрированной логической поддержки в рамках единого информационного пространства (единой информационной модели изделия). Этот факт отражен на рис.2.

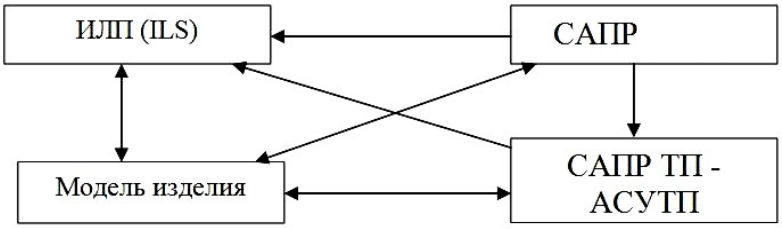

Рис.2. Автоматизация жизненного цикла изделия,
ИЛП – интегрированная логическая поддержка изделия

Заключение. Указанный подход к разработке комплексной САПР ТП – АСУ ТП реализуется на одном из машиностроительных предприятий, занимающихся производством аппаратуры малыми сериями для геофизических исследований нефтяных и газовых скважин.

Обеспечение выявленных принципов при разработке САПР ТП и АСУ ТП позволило создать эффективное инструментальное средство, позволяющее повысить технико-экономические показатели и ритмичность работы технологических подразделений в условиях единичного и мелкосерийного производства, добиться возможности управления в режиме реального времени (что важно, учитывая их динамику), поднять качество технологических и управленческих решений на принципиально новый уровень.

Реализация комплексной системы как единого целого предусматривает разработку моделей и алгоритмов функционирования каждой из ее подсистем при условии рассмотрения их как сложных иерархических решающих систем.

Библиографический список

1. Российский комплекс программ T-Flex CAD/CAM/CAE/PDM. Топ-системы. – М., 2005. – 50 с.

2. Жук Д.М. CAD/ CAE/ CAM – системы высокого уровня для машиностроения / Д.М. Жук // Информационные технологии. – 1995. – №6. – С.22-26.

3. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: СПбГТУ, 1999. – 211с.

4. Кафаров В.В. Решение задачи технической диагностики непрерывного производства с помощью интервального анализа / В.В. Кафаров, Б.В. Палюх, В.Л. Перов // Доклады Академии наук СССР. – 1990. – Т.З.11. – №3. – С. 677-680.

Материал поступил в редакцию 15.05.09.

B.V. PALYUKH, G.B. BURDO

ENHANCEMENT OF EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL DEPARTMENTS MANAGEMENT IN AN INDIVIDUAL AND SMALL-SCALE PRODUCTION COMPANY

The paper shows the results of research on relations between elements of production system of machine-building plants with individual and small-scale production from the position of process management. It specifies the main principles used when creating integrated systems of process planning and management.

ПАЛЮХ Борис Васильевич (р.1948), ректор Тверского государственного технического университета (ТГТУ), заведующий кафедрой «Информационные системы», доктор технических наук (1993), профессор. Окончил Калининский политехнический институт (1971).
Область научных интересов: информационные системы и технологии, системы управления, искусственный интеллект.
Имеет более 200 научных публикаций.

БУРДО Георгий Борисович (р.1953), профессор кафедры «Технология и автоматизация машиностроения» ТГТУ, кандидат технических наук(1983). Окончил Калининский политехнический институт (1975).
Область научных интересов: системы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении, автоматизация управления технологическими процессами в машиностроении.
Автор более 60 научных работ.

pboris@tstu.tver.ru
tehn@karotazh.ru