

УДК 621.317.75:519.2

О.В. Миловзоров

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПОВ СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗ ОБОБЩЕННОЙ СТРУКТУРЫ НА БАЗЕ СИСТЕМЫ T-FLEX ТЕХНОЛОГИЯ

Предложена новая методика автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов на основе расширенной трактовки понятия обобщенной структуры, включающей обобщенные операции и переходы, и информационной модели детали. Введены понятия опорных и вспомогательных параметров технологических элементов, позволяющие осуществлять автоматизированный синтез техпроцесса с использованием прототипа в системе T-Flex Технология.

Ключевые слова: маршрутно-операционный технологический процесс, обобщенная структура технологических процессов, автоматизированное проектирование, CAPP-система.

Введение. Автоматизированное проектирование маршрутно-операционных технологических процессов в современных унифицированных CAPP-системах (Computer Aided Process Planning System) требует разработки соответствующих методик проектирования, опирающихся как на общетеоретические основы, так и на конкретные возможности и инструментарий конкретной CAPP-системы. В статье рассматривается методика проектирования техпроцессов в системе T-Flex Технология на базе расширенной трактовки обобщенной структуры. Методика адаптирована к требованиям технологических служб машиностроительных предприятий в части гибкости и представления более широких возможностей технологом.

Цель работы – разработка методики автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов в системе T-Flex Технология на основе обобщенной структуры.

Теоретическая часть. Синтез технологических процессов на основе обобщенной структуры [1] является одним из возможных путей повышения степени автоматизации проектирования маршрутно-операционных технологических процессов с использованием унифицированных CAPP-систем. Как известно, переход от специализированных САПР, создаваемых на конкретных предприятиях, к унифицированным системам привел к резкому снижению степени автоматизации проектирования [4,5]. Основным принципом проектирования стал диалоговый, а сама унифицированная CAPP-система стала ис-

пользоваться, главным образом, как автоматизированный справочник, из которого проектировщик теми или иными способами извлекает необходимые данные для технологического процесса.

Необходимо сказать, что, несмотря на все большее применение на предприятиях станков с ЧПУ, необходимость в маршрутно-операционной технологии не отпадает. Напротив, именно здесь описывается порядок обработки детали, который затем будет воплощен в управляющей программе станка с ЧПУ.

Система T-Flex Технология имеет в своем функционале средства автоматизированного проектирования структуры технологического процесса, включая набор операций и технологических переходов [1,2]. Основой для такого проектирования служат техпроцессы-прототипы и информационная модель детали, состоящая из набора технологических элементов (ТЭ) – обрабатываемых поверхностей. Прототип содержит шаблоны текстов переходов, каждый из которых привязывается к соответствующему ТЭ. На основе этой привязки система может автоматически отбирать из прототипа только те шаблоны текстов переходов, которые привязаны к технологическим элементам, имеющимся в информационной модели детали. При этом в шаблонах текстов переходов осуществляется замена переменных конкретными значениями параметров ТЭ информационной модели детали [3].

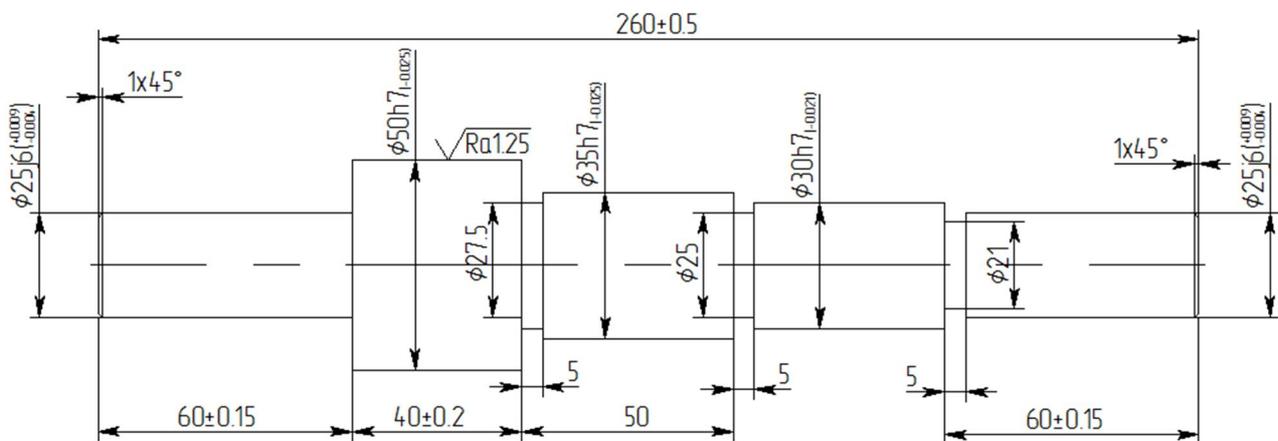
По сути, данный принцип автоматизированного проектирования технологического процесса можно рассматривать как частный случай синте-

за на основе обобщенной структуры, в качестве которой выступает прототип.

Однако, как показывает практика, эти средства мало используются технологами предприятий ввиду сложности такого прототипа. Помимо отбора переходов, привязанных к ТЭ, необходимо также отсеять лишние переходы, обеспечивающие лучшую, чем требуется для конкретной детали, точность обработки. Чтобы система могла реализовать эту стратегию, необходимо, чтобы для каждой поверхности - ТЭ детали, являющейся компонентом информационной модели, был указан ее квалитет, а каждый из обрабатываемых переходов прототипа также должен содержать информацию об обеспечиваемом дан-

ном переходом квалитете выполняемого размера. Это далеко не всегда удобно делать. Кроме того, чтобы геометрические параметры текста перехода конкретного техпроцесса, сформированные на основе ТЭ информационной модели, содержали точные выполняемые размеры, должна быть создана целая система расчета этих параметров на основе чертежных данных, а также система расчета припусков на обработку в виде набора формул, привязанных к переходам прототипа.

Рассмотрим простейший пример, наглядно показывающий неудобства такой системы. Пусть необходимо выполнить обработку вала, представленного на рисунке.



Чертеж детали, подлежащей обработке

Предположим, что в качестве заготовки выбран прутки. Информационная модель детали будет состоять из пяти наружных цилиндрических поверхностей (4 правых и 1 левая), двух наружных торцовых поверхностей (правой и левой) и трех наружных канавок (правых). Данные технологические элементы должны быть описаны параметрами – диаметрами и длинами. Казалось бы, необходимо указать геометрические параметры ТЭ в соответствии с чертежом. Однако выясняется, что для точного описания технологии обработки необходима целая группа параметров для каждой из цилиндрических поверхностей. И если диаметральные выполняемые размеры еще можно рассчитать автоматически на основе формул расчета припусков на обработку, то выполняемые длины цилиндрических поверхностей должны определяться либо вручную технологом, либо автоматически по эвристическим алгоритмам. Возьмем, например, цилиндрическую поверхность $\varnothing 35h7$. Ее квалитет предполагает выполнение операций чернового, получистового, чистового точения и шлифования (тонкого точения). При черновом точении ее обработка должна выполняться от торца дета-

ли, т.е. длина точения составит 150 мм, при получистовом и чистовом – 50 мм с учетом еще не выполненной канавки и только на последней стадии обработки (тонкое точение или шлифование) ее длина будет соответствовать чертежу. Кроме того, необходимо предусмотреть припуски на дальнейшую обработку для чернового, получистового и чистового точений.

Как видим, для того, чтобы система смогла сформировать корректный технологический процесс, в прототипе необходимо сформировать целый набор расчетов, причем для каждой конкретной детали такой набор может иметь индивидуальные, характерные только для данной конструкции формулы или даже целые алгоритмы. Такой подход сильно усложняет процесс разработки прототипа, учитывая, что, как правило, технологи не являются программистами.

Если исходить из практики механосборочного производства, то технологи предприятий, имея большой опыт проектирования конкретных технологических процессов, обычно четко представляют, сколько стадий обработки (обобщенным термином «стадия» будем именовать выполняемую операцию или переход) – черновой,

получистой, чистой, тонкой – требуется для обработки той или иной поверхности в зависимости от ее точности, твердости, расположения относительно базовых поверхностей. Опытному технологу достаточно просто определить основные выполняемые размеры поверхностей. В связи с этим целесообразно давать самому технологу возможность определения количества стадий обработки конкретной поверхности, выполняемых размеров, а также указания припусков на обработку.

Рассмотрим возможность адаптации системы T-Flex Технология для автоматизированного проектирования технологических процессов с применением метода обобщенной структуры, давая при этом технологу большую свободу творческого проектирования, исключая необходимость в разработке специальных расчетных формул.

Система T-Flex Технология допускает разработку собственных технологических элементов – обрабатываемых поверхностей, для чего необходимо сформировать соответствующий вид ТЭ и набор параметров к нему.

Разделим параметры обрабатываемых поверхностей на *опорные*, соответствующие выполняемым размерам, и *вспомогательные*. К опорным параметрам будем относить такие размеры, которые в конечном итоге определяют количество операций (переходов) обработки данной поверхности, количество проходов и снимаемые припуски. К вспомогательным параметрам отнесем справочную информацию и размеры, задающие зону обработки, а также расположение обрабатываемой поверхности относительно базовых поверхностей. Введем нижеследующую систему обозначений для параметров обработки поверхностей.

Опорные параметры. В зависимости от вида обрабатываемой поверхности к ним будут отнесены различные размеры. Для цилиндрических поверхностей (внутренних и внешних поверхностей, отверстий, групп отверстий) это будут диаметры, получаемые в результате механической обработки, – D1, D2, D3, ... Здесь индекс у буквы D обозначает порядковый номер стадии обработки. Если, например, поверхность проходит через стадии черновой, получистой, чистой и тонкой обработки, то выполняемые размеры будут иметь следующие обозначения: D1 (черновая), D2 (получистовая), D3 (чистовая) и D4 (тонкая). Отметим, что индекс не будет четко соответствовать принятому делению на черновые-получистовые-чистовые стадии обработки, а лишь указывает на порядковый номер стадии. Возможны технологические процессы с

пропуском стадии получистой обработки, тогда D2 будет соответствовать операции (переходу) чистового точения.

Для торцовых поверхностей к опорным параметрам следует отнести габаритные размеры детали, получаемые в результате торцевания. Как правило, для такой обработки достаточно одной – двух стадий (например, черновое и чистовое подрезание торца), хотя теоретически их может быть и больше. Обозначим данную группу параметров через GB1, GB2...

При обработке плоских поверхностей корпусных деталей – лицевых (верхних и нижних) и боковых – процесс приближения к окончательному точному размеру в соответствии с чертежом также проходит через несколько стадий, выполняемых с переустановкой или поворотом детали, закрепленной в универсально-сборное приспособление (УСП) или универсально-сборную переналаживаемую оснастку (УСПО). При этом опорным выполняемым размером обычно является габаритная высота относительно некоторой базовой поверхности. Очень часто таким размером является габаритный размер относительно противоположной плоской поверхности корпусной детали (верхняя – нижняя, передняя – задняя). Обозначим данную группу параметров через H1, H2, H3...

Обработка контурных поверхностей – наружных профильных поверхностей (стенок детали) и карманов (пазов, полостей) может выполняться в несколько стадий, при этом выполняемым можно считать припуск, оставляемый у контура на дальнейшую обработку. Обозначим данную группу параметров через PR1, PR2... Заключительным опорным параметром, обеспечивающим финишную обработку поверхности, является параметр PRN, который в отличие от предыдущих параметров, имеющих численные значения, может иметь текстовое значение «начисто», «окончательно» и т.п.

Вспомогательные параметры. К этим видам параметров отнесем обозначение поверхности на операционном эскизе, габаритные размеры обрабатываемой поверхности, выдерживаемые размеры, определяющие расположение данной поверхности относительно базовых, и координатные размеры.

Для всех поверхностей выберем унифицированный параметр, соответствующий обозначению на операционном эскизе, – E.

Для цилиндрических поверхностей введем следующие вспомогательные параметры.

DZ – диаметр, с которого начинается точение поверхности. Пример шаблона текста перехода: «Точить поверхность с диаметра {DZ} до

{D1} на проход». Данный параметр необязательный, т.к. часто диаметр заготовки в переходе не указывается, а дается лишь только выполняемый размер.

L1, L2, L3, ... – линейные размеры цилиндрической поверхности, обрабатываемой на соответствующей стадии. Пример шаблона текста перехода с опорным и вспомогательным выполняемыми размерами: «Точить диаметр {D1} на длине {L1}».

X1, X2, ..., XN, Y1, Y2, ..., YM – выдерживаемые размеры. Если линейные размеры цилиндрической поверхности в процессе ее точения (расточивания) могут изменяться, вследствие чего и необходимо введение номера для привязки к стадии обработки, то выдерживаемые размеры, как правило, являются фиксированными и привязанными к чертежу детали. Пример шаблона текста перехода, использующего наряду с опорным и вспомогательным выполняемыми размерами еще и выдерживаемые: «Расточить поверхность до диаметра {D2} на длину {L2}, выдерживая размеры {X1} и {Y1}».

Для плоских поверхностей корпусных деталей линейные размеры (длина L и ширина B), как правило, между стадиями черновой, получистовой и чистовой обработок свои значения не изменяют, так же как и выдерживаемые размеры. Обработка ведется для обеспечения точного размера габаритной высоты H.

Особенность различных типов отверстий состоит в том, что их координатные размеры (ортогональные, или угловые, если массив отверстий скоординирован как круговой массив с некоторым угловым шагом) всегда одни и те же. При этом обеспечение точного диаметрального размера требует нескольких технологических переходов. Например, центрование, сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание или растачивание. Аналогично несколько переходов требует и обработка ступенчатого отверстия. Опорными выполняемыми размерами здесь выступают диаметральные размеры D – D1, D2, D3, ... Вспомогательными выполняемыми размерами здесь будут глубины обработки отверстий G1, G2, G3, ... Одни и те же индексы у D и G соответствуют одной и той же стадии обработки отверстия. Если для высокоточных отверстий численные значения глубин на разных стадиях обработки могут совпадать, то для ступенчатых отверстий они будут разными.

Координатные размеры для отверстий обозначим через X, Y, Z, если система координат – ортогональная. Если отверстия представляют собой круговой массив, то для определения их координатных размеров введем обозначения D –

диаметр окружности, на которой находятся центры отверстий, K – количество отверстий, DF – угловой шаг центров отверстий. Номера в координатных размерах могут использоваться для обозначения порядкового номера отверстия, входящего в группу отверстий одного диаметра.

Многие виды поверхностей обрабатываются за один технологический переход (фаски, канавки, проточки, пазы), поэтому для описания геометрии их обработки нет необходимости вводить набор опорных размеров, которые, как было указано, нужны для определения количества стадий обработки и выполняемых на них размеров.

Таким образом, если некоторая обрабатываемая поверхность ТЭ может иметь в тех или иных условиях несколько стадий обработки, то путем задания конкретных значений опорных размеров у конкретной детали можно сформировать информационную модель детали, однозначно задающую количество стадий обработки поверхности, при этом индекс опорного размера будет указывать на порядковый номер стадии. Подробности технологического процесса обработки при этом описываются с помощью вспомогательных размеров.

Формализуем процесс проектирования технологического процесса на основе прототипа и информационной модели детали.

Представим информационную модель детали p в виде множества IM_p технологических элементов (technologic elements) TE_i , каждый из которых, в свою очередь, является множеством, состоящим из одного опорного (basic) параметра p_{bi} , соответствующего опорному выполняемому размеру, и множества вспомогательных (auxiliary) параметров p_{aj} , соответствующих вспомогательным выполняемым размерам:

$$IM_p = \bigcup_{i=1}^I TE_i; \quad TE_i = p_{bi} + \bigcup_{j=1}^J p_{aj}, \quad (1)$$

где I – общее количество технологических элементов, образующих деталь;

J – общее количество вспомогательных параметров i -го технологического элемента.

Представим технологический процесс – прототип в виде обобщенной структуры [1] – кортежа M_o из K обобщенных технологических операций O_k^o

$$M_o = \langle O_1^o, O_2^o, \dots, O_k^o, \dots, O_K^o \rangle, \quad (2)$$

где каждая из операций O_k^o , в свою очередь, описывается кортежем обобщенных технологических переходов P_{sk}^o

$$O_k^o \Rightarrow C_k^o = \langle P_{1k}^o, P_{2k}^o, \dots, P_{sk}^o, \dots, P_{Sk}^o \rangle. \quad (3)$$

Использование кортежей обусловлено тем, что в технологическом процессе чрезвычайно важен порядок выполнения операций и переходов.

Обозначим технологический элемент TE_i , привязанный к технологическому переходу P_{sk}^o , как $TE_i(P_{sk}^o)$, и опорный параметр технологического элемента TE_i как $p_{bi}(TE_i(P_{sk}^o))$. Тогда условие выбора перехода P_{sk}^o из кортежа $C_k R_L$ прототипа для маршрута R_p обработки конкретной детали p можно представить в виде:

$$\forall P_{sk}^o \in R_p (\exists (TE_i(P_{sk}^o) \in IM_p) \wedge (p_{bi}(TE_i(P_{sk}^o)) \neq 0)).$$

Т.е. для выбора перехода в маршрут обработки конкретной детали необходимо одновременно наличие двух условий:

- данный переход в прототипе должен быть привязан к ТЭ, имеющемуся в информационной модели детали;

- опорный выполняемый размер данного перехода в соответствующем ТЭ информационной модели детали определен и имеет конкретное численное значение.

Равенство нулю значения базового параметра является достаточным условием выбора перехода. Любой реальный выполняемый размер детали никогда не может быть равным нулю. Если же данный параметр пользователь не определяет, т.е. не вводит конкретное численное значение, то по умолчанию система принимает его равным нулю. Единственным исключением является опорный параметр PRN, имеющий не числовое, а текстовое значение.

В системе T-Flex Технология имеется механизм привязки фрагмента шаблона текста перехода к переменной [2,3] и этот механизм позволяет автоматически исключать из текста конкретного перехода ненужный фрагмент. Условием исключения является неопределенное значение соответствующей переменной. Т.е., если в информационной модели детали данный параметр технологического элемента не определен, то весь соответствующий фрагмент шаблона исключается. При этом все переменные, имеющиеся в шаблоне, значения которых в информационной модели определены, заменяются на конкретные численные (а возможно, и текстовые) значения. Данный механизм целесообразно широко использовать при разработке прототипов для получения унифицированных шаблонов текстов переходов. Единственным условием, ограничивающим применение данного механизма, является наличие опорных выполняемых параметров.

Рассмотрим использование унифицированного шаблона на примере токарной обработки цилиндрических поверхностей. На практике переход точения поверхности может выполняться с указанием исходного диаметра заготовки и без него, с указанием длины точения поверхности, с указанием выдерживаемого размера и без него, с указанием шероховатости и без. Шаблон, позволяющий сформировать все перечисленные варианты, будет иметь следующий вид: «Точить поверхность [с диаметра {D1}] до диаметра {D2} [на длине {L2}][, выдерживая размер {X}][, {Y}][, с шероховатостью {Sh}]». Заключенные в квадратные скобки фрагменты привязаны к соответствующим переменным и будут исключены в конкретном случае, если соответствующие переменные технологического элемента в информационной модели не определены. Данный шаблон будет выбран, если в модели присутствует технологический элемент, у которого определена переменная D2, соответствующая второй стадии механической обработки данной поверхности – получистовой или чистовой.

С использованием унифицированных шаблонов текстов переходов разработка прототипа становится формализованной и нетрудоемкой. Так, например, для деталей типа тела вращения (см. рисунок) формируются унифицированные шаблоны для обработки основных технологических элементов – наружных цилиндрических, торцовых поверхностей и канавок.

Цилиндрические поверхности:

- «Точить поверхность [{E} (см. операционный эскиз)][с диаметра {DZ}] до диаметра {D1} [на длине {L1}][, выдерживая размер {X}][, {Y}][, с шероховатостью {Sh}]» - для первой стадии (черновое точение);

- «Точить поверхность [{E} (см. операционный эскиз)] [с диаметра {D1}] до диаметра {D2} [на длине {L2}][, выдерживая размер {X}][, {Y}][, с шероховатостью {Sh}]» - для второй стадии (получистовое точение);

- «Точить поверхность [{E} (см. операционный эскиз)] [с диаметра {D2}] до диаметра {D3} [на длине {L3}][, выдерживая размер {X}][, {Y}][, с шероховатостью {Sh}]» - для третьей стадии (чистовое точение);

- «Точить поверхность [{E} (см. операционный эскиз)] [с диаметра {D3}] до диаметра {D4} [на длине {L4}][, выдерживая размер {X}][, {Y}][, с шероховатостью {Sh}]» - для четвертой стадии (тонкое точение).

Торцовые поверхности:

- «Подрезать торец [{E} (см. операционный эскиз)] [диаметром {D1}] в размер {GB1}»;

- «Подрезать торец [$\{E\}$ (см. операционный эскиз)] [диаметром $\{D2\}$] в размер $\{GB2\}$ ».

Канавки:

- «Точить канавку [$\{E\}$ (см. операционный эскиз)] [шириной $\{B\}$], [глубиной $\{G\}$] [до диаметра $\{D\}$], [выдерживая размер $\{X\}$], [$\{Y\}$].»

Последний унифицированный шаблон точения канавки предусматривает различные варианты определения ее размеров. Также его особенностью является отсутствие опорного параметра, поскольку канавки, будучи неточными поверхностями, как правило, выполняются за один переход.

Каждый из унифицированных шаблонов привязывается к своему технологическому элементу и повторяется в прототипе столько раз, сколько подобных элементарных обрабатываемых поверхностей может содержать самая сложная из деталей, для которых предполагается использовать данный прототип.

Очень эффективным для автоматизации проектирования техпроцессов, реализация которых планируется на станках с ЧПУ, является формирование и использование групповых технологических элементов – групп цилиндрических поверхностей, отверстий, канавок, фасок, пазов и пр.

При точении тел вращения на станках с ЧПУ после черновой обработки ступенчатых цилиндрических поверхностей обычно следует чистовой проход от торца и до наибольшего диаметра. Для таких переходов можно ввести технологический элемент – Группа чистовых цилиндрических поверхностей, параметрами которого могут быть чистовые выполняемые размеры диаметров и ступеней вала $\{D1\}$, $\{D2\}$, $\{D3\}$, ... и $\{L1\}$, $\{L2\}$, $\{L3\}$,... Если возникает необходимость в повышении твердости поверхностного слоя путем закалки ТВЧ или цементации с последующим шлифованием, можно ввести еще один технологический элемент – Группа шлифуемых цилиндрических поверхностей с аналогичным перечнем параметров.

Таким образом, технологические элементы становятся основой для описания самых различных технологических процессов. К примеру, можно в прототипе сочетать шаблоны по обработке отдельных поверхностей, групп поверхностей, причем возможно включение различных альтернативных способов обработки, таких как

тонкое точение или шлифование, и благодаря созданию набора технологических элементов с различным сочетанием параметров становится возможным формирование различных маршрутов обработки конкретных деталей на основе их информационных моделей.

Выводы

1. Система T-Flex Технология может быть адаптирована для автоматизированной разработки технологических процессов на основе прототипов и информационных моделей деталей с расширением возможностей технолога по определению стадий механической обработки и припусков на обработку без необходимости разработки алгоритмов и расчетов.

2. Основой для адаптации служит формирование системы параметров технологических элементов в виде опорных и вспомогательных, разбитых по стадиям механической обработки.

3. Инструментом для создания прототипов технологических процессов как основного средства автоматизации являются унифицированные шаблоны текстов переходов с привязкой к соответствующим технологическим элементам.

Библиографический список

1. Миловзоров О.В., Тарабрин Д.Ю. Обобщенная структура как средство автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2014. № S1 С. 51-56.

2. Миловзоров О.В., Паршин А.Н. САПР маршрутно-операционной технологии тел вращения на базе комплекса T-FLEX // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XX Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. 2015. С.163-165.

3. Миловзоров О.В., Паршин А.Н. Автоматизированное проектирование технологических процессов в системе T-FLEX Технология: учеб. пособие. Рязань: Рязанский институт (филиал) Университета машиностроения, 2013. 63 с.

4. Миловзоров О.В., Паршин А.Н. САПР технологических процессов: Конспект лекций: учеб. пособие. Часть 1. Рязань: Рязанский институт (филиал) Университета машиностроения, 2015. 47 с.

5. Миловзоров О.В., Паршин А.Н. САПР технологических процессов: Конспект лекций: учеб. пособие. Часть 2. Рязань: Рязанский институт (филиал) Университета машиностроения, 2015. 52 с.