

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА-СИНТЕЗА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОУРОВНЕВОЙ БАЗОВОЙ ГРУППОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Ракунов Ю.П.

НИУ Московский государственный строительный университет, Москва

Ключевые слова: первичная подсистема, подсистема синтеза, типаж унифицированных резцов, методика и критерии параметрической оптимизации, методика назначения режимов оптимального резания.

Аннотация. Проведен анализ концепций принципиально различных подходов к построению систем автоматизированного проектирования (САПР) индивидуальных и групповых технологических процессов (ТП) на основе формализации интеллектуального процесса принятия решений квалифицированным технологом с учётом конструктивно-технологических параметров предмета производства. Сформулированы научные принципы информационного проблемно-ориентированного подхода к созданию структуры документов многоуровневой базовой групповой технологии (МБГТ) в виде таблиц-матриц, позволяющих формализовать процесс анализа и синтеза уровней групповых ТП, автоматизированного выбора из типажей позиционных и групповых инструментальных наладок (ГИН), условий осуществления моделей проходов, переходов, позиций и установов (детале-операций). Первичная подсистема и подсистема синтеза позволяют выполнить принцип единства баз и правило кратчайшего пути при индивидуальной и групповой обработке, обеспечивают быстрое и надёжное синтезирование ГИН, максимальную размерную стойкость инструментов в ГИН и гарантирует наилучшее качество обработанных поверхностей при минимальных затратах на изготовление деталей.

APPLICATION OF THE ANALYSIS-SYNTHESIS METHOD FOR THE DESIGN OF A MULTILEVEL BASIC GROUP TECHNOLOGY

Rakunov Yu.P.

NRU Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

Keywords: primary subsystem, subsystem of synthesis, types unified cutting tools, method of parameter optimization, criteria of defining the optimum, method of assigning optimal cutting modes.

Abstract. The analysis of the concepts of fundamentally different approaches to the construction of computer-aided design (CAD) systems for individual and group technological processes (TP) is carried out based on the formalization of the intelligent decision-making process by a qualified technologist, taking into account the design and technological parameters of the production item. The scientific principles of the information problem-oriented approach to the creation of the structure of documents of a multilevel basic group technology (MBGT) in the form of matrix tables are formulated, allowing to formalize the process of analysis and synthesis of the levels of group TP, automated selection from the types of positional and group instrumental adjustments (GIA), implementation conditions models of passages, transitions, positions and setups (detail-operations). The primary subsystem and the synthesizing subsystem make it possible to fulfill the principle of unity of bases and the shortest path rule for individual and group processing, provide fast and reliable synthesis of GIA, maximum dimensional stability of tools in GIA, and guarantee the best quality of machined surfaces at minimal cost for manufacturing parts.

Введение

Создание современных систем автоматизированного проектирования (САПР) индивидуальных и групповых технологических процессов (ТП) на основе конструктивно-технологических параметров предмета производства (в частности – детали) является одной из наиболее актуальных и нерешенных пока проблем автоматизации проектирования. Главной причиной этого является отсутствие общего решения проблемы синтеза структур объектов проектирования инвариантного их классу [1-4]. Эти трудности усугубляются при обработке труднообрабатываемых материалов (ТОМ).

Основное содержание и результаты работы

В исследованиях [1-5] убедительно показано, что сложность автоматизации проектирования (синтеза) структуру ТП объясняется большой совокупностью правил проектирования, слабой их формализацией, динамичностью схем их применения, определяемых конкретными производственными условиями. Современные системы проектирования ТП характеризуются применением эвристических алгоритмов формирования структур, строго ориентированных на ограниченное число производственных ситуаций, поэтому системы плохо тиражируемы и не адаптивны. Решения, формируемые системой, часто требуют глубокой корректировки. При проектировании структуры ТП требуется ввести большой объём необходимых исходных данных об изделии и производственной среде. Для корректировки решений, облегчения процесса кодирования и ввода исходных данных об изделии применяют диалог пользователя с системой. Однако, даже диалог не позволяет повысить эффективность проектирования структуры ТП, если алгоритмы не были рассчитаны на конкретную производственную ситуацию. Оперативно изменить или дополнить алгоритмическое и программное обеспечение не представляется возможным [1, 3, 4].

Процесс варьирования параметров (параметрической настройки) значительно более формализован и менее зависим от производственной ситуации, поэтому в последнее время появилось много систем, в которых автоматически (или автоматизировано) выполняется параметрическая настройка, а структура ТП формируется вручную, и информация о ней вводится в систему как исходные данные. Такие системы легко адаптируются к производственным условиям, требуют введения относительно небольшого объёма исходных данных и легко воспринимаются специалистами при их внедрении. Однако, эффективность решений в таких системах определяется квалификацией технолога, отсутствует возможность оптимизировать структуру объекта проектирования, особенно при финишной обработке ТОМ [4-6].

За последние 10-15 лет состояние проблемы автоматизации синтеза структур ТП изменилось мало. Проблема автоматизированного синтеза *единичных* и *групповых ТП (ГТП)* остаётся важнейшей и наиболее актуальной задачей САПР ТП [1-6, 16].

В наиболее часто встречающихся научно-технических оценках состояния автоматизированного синтеза ТП указывается, что при его реализации маршрутная и операционная технологии должны создаваться на основе общих

закономерностей проектирования или эвристик, справедливых для ограниченного класса деталей, определённых видов и типов производств. Утверждается, что сформировать закономерности проектирования и критерии ТП, с помощью которых можно было бы разрабатывать весь процесс изготовления деталей на сегодняшний день не представляется возможным. Теория синтеза структур технологических объектов, несмотря на усилия многих исследователей, была разработана недостаточно [1-6, 9-11, 16].

Структура САПР ТП и состав её подсистем (прежде всего проектирующих) определяются реализуемой в ней методологией проектирования. Существуют две основные методологии проектирования ТП изготовления изделий машиностроения:

- проектирование на базе использования ТП-аналогов;
- синтез единичных ТП на основе конструктивно-технологических характеристик изготавливаемых изделий.

Процессами-аналогами называют типовые и групповые ТП (ГТП). Единичный ТП можно проектировать на основе процессов-аналогов. В этом случае его структура и содержание технологических детали-операций (ДО) в значительной мере определяются структурой процесса-аналога [1, 3, 4-6].

При разработке ГТП новых типоразмеров изделий и отсутствии типовых ТП, эффективным методом оптимального решения задач САПР ГТП является метод синтеза (восходящий метод), т.е. метод интегрирования по определённым правилам более высоких уровней ГТП из их составляющих структурных единиц, при этом метод анализа (дифференцирования) маршрута изготовления (нисходящий метод) целесообразно использовать до уровня типоразмера установка (ДО) [5, 10].

При использовании метода синтеза ключевым вопросом построения САПР ГТП является вопрос о том, как в данной системе осуществляется синтез структуры объектов проектирования: – рабочих ходов (проходов) с определением режимов резания, переходов ТП, технологических групповых детали-операций (установов) [9-11, 16].

Совокупность процедур анализа, оценки результатов и модификации (изменения) параметров называют *параметрическим синтезом*. Если параметрический синтез не принёс желаемых результатов, и качество полученного проектного решения не соответствует техническому заданию (ТЗ), то изменяют структуру объекта решения, вплоть до синтеза новой. Если не удаётся получить приемлемое проектное решение, то возможна корректировка ТЗ, так как показатели объекта проектирования, предписанные прежним ТЗ, невозможно обеспечить. Это возникает, если возможности САПР ГТП недостаточны для качественного проектирования [1-4, 10, 11, 13, 16].

В настоящее время САПР групповой технологии механической обработки действует на основе типовых технологических процессов-аналогов, что вполне оправдано только при наличии достаточно представительных групп деталей, объединённых конструктивной и технологической общностью. Сейчас, однако, такой подход уже представляется рутинным, поскольку не позволяет разрабатывать оптимальные ТП, адаптированные к характеру конкретного

производства с учётом его серийности и оснащённости новыми моделями инструмента, оснастки и оборудования.

При разработке технологии производства новых видов изделий при отсутствии типовых ТП, эффективным методом оптимального решения задачи является восходящий метод – синтеза, т.е. интегрирования по определённым правилам ГТП более высоких уровней из их составляющих: переходов из проходов (рабочих ходов), установов и позиций из переходов, этапов из установов, маршрутов из этапов [4-6, 9-11, 16].

Для реализации информационного проблемно-ориентированного подхода разработана структура документов многоуровневой базовой групповой технологии (МБГТ) в виде таблиц-матриц (Т-М), что позволяет формализовать процесс синтеза уровней ГТП: автоматизированного выбора позиционных (ПИН) и групповых инструментальных наладок (ГИН), условий ведения проходов, переходов, позиций и установов [6-11, 13-15].

Рабочие Т-М первичной подсистемы по горизонтали начинаются с характеристик технологических видов поверхностей: их геометрической формы, взаимного положения и сопряжения. Путём добавления соотношений параметров поверхностей и технологических признаков группового метода обработки получаем характеристику типов, определяющих номенклатуру поверхностей, формирование которых возможно данным методом. Дальнейшее дополнение Т-М информацией о диапазонах геометрических параметров и физических свойств, а также точности их выполнения на уровне отдельных проходов и их состава, т.е. переходов, даёт полную характеристику типоразмеров (ТР) рабочих поверхностей деталей в группе [6, 10, 11].

Первичная подсистема МБГТ представлена на примере прецизионного точения и предусматривает по входным данным о виде и типе поверхностей вращения, их взаимном положении и сопряжении, размерах и требуемых качественных свойствах получение следующей выходной информации:

- тип и ТР унифицированного режущего инструмента (УРИ) (*рис. 1*) [6-11];
- материал и геометрия активной части УРИ [13];
- модель РИ и параметры ПИН для выбранного ТР станка (*рис. 1*) [10];
- режимы проходов: глубина, подача, скорость резания, СОЖ [6];
- необходимое исходное состояние поверхности по каждому проходу [13];
- номенклатура и последовательность проходов, т.е. состав перехода;
- прогнозируемый ресурс ПИН, инструментоёмкость, материалоёмкость и другие технико-экономические показатели каждого перехода [11-14].

Первичная подсистема и подсистема синтеза обеспечивают выполнение правила кратчайшего пути и соблюдение принципа единства баз при индивидуальной и групповой обработке [6, 9, 11, 13].

Подсистема синтеза МБГТ позволяет быстро и надёжно синтезировать ГИН, обеспечивает на режимах оптимального резания (РОР) максимальную размерную стойкость всех моделей УРИ в ГИН и гарантирует наилучшее качество обработанных поверхностей при минимальных затратах на изготовление деталей, входящих в группу [9, 11, 14, 15].

Технолог, пользуясь программой выбора с помощью ЭВМ, может выбрать резцы, работая непосредственно с эскизом детали и вводя в ПК параметры поверхностей. Поиск расточных резцов. Введите параметры обрабатываемой поверхности заготовки из операционного эскиза

Параметр	Значение, мм
Диаметр обработки	3,0
Длина обработки	6,0
Ширина обрабатываемого торца	0,5
Вылет резца из резцедержателя	7,0

Перенести расточных резцов для обработки отверстия с заданными размерами (Выберите шифр инструментов, допустимых для обработки на конкретном станке)

Типоразмер резца	Главный угол в плане	Макс. длина обработки, мм	Материалы режущего элемента	Державка		Высота относительно установочной базы, мм	Шифр резца
				Диаметр, мм	Ширина, мм		
03Ц1Пр	$\phi = 100^\circ$	6,0	T30K4	-	12	8,15	9E 2140-4375 Y
03Ц1Пр	$\phi = 60^\circ$	13,0	BK6M	-	10	5,05	9E 2141-4109 N
03Ц1Пр	$\phi = 90^\circ$	12,0	BK100M	-	12	6,5	9E 2141-4235 Y
02Ц1Лв	$\phi = 90^\circ$	14,0	Твёрдый спл.	-	10	10,0	9E 2141-0006 N
02Ц1Пр	$\phi = 105^\circ$	13,5	BK100M	8	-	4,05(0,05)	9E 2146-4456 N
2,5 Цв/Лв	$\phi = 90^\circ$	10,0	Твёрдый спл.	8	-	4,15(0,15)	9E 2146-1948 N

Информация о наличии инструмента в цехах (в таблицу введён шифр выбранного инструмента)

Шифр резца	Обрабатываемые детали	№ цеха (участка, ячейки)	Количество резцов
9E 2140-4375	6B8034322	16(3)	74
9E 2141-4235	6D8310331	7(2,26)	-
9E 2141-4235	6D8310335	7(2,26)	-

Выбор позиционных инструментальных наладок, являющихся материальным обеспечением первичной подсистемы многоуровневой базовой технологии, обеспечивает автоматизированное проектирование оптимальных ресурсосберегающих маршрутных и механообрабатывающих операционных технологических процессов обработки «токарных» деталей. САПР – «Токарный инструмент» в диалоговом режиме позволяет определить по виду, типу, типоразмеру и соотношению параметров обрабатываемых поверхностей – тип, типоразмер и модель позиционной инструментальной наладки, включая геометрические параметры активной, промежуточной (несущей) и посадочной частей инструмента. Базовые позиционные инструментальные наладки разработаны для обработки деталей из труднообрабатываемых и конструкционных сталей, цветных металлов и сплавов на токарном автоматизированном оборудовании. В основе САПР – «Токарный инструмент» находится оригинальная система описания инструмента, которая помогла создать структуру базы данных заводских резцов в производственных условиях, где отсутствует унификация инструмента. САПР – «Токарный инструмент» может быть использован в виде самостоятельной подсистемы, а также в виде программного модуля в системах САПР-ЧПУ и САПР-ПП. САПР – «Токарный инструмент» совместно с САПР – «Режимы» образует единую систему проектирования оптимальных условий обработки на уровне рабочего хода (прохода) и создаёт предпосылки для разработки САПР-ТП на уровне перехода и установа (детале-операции).

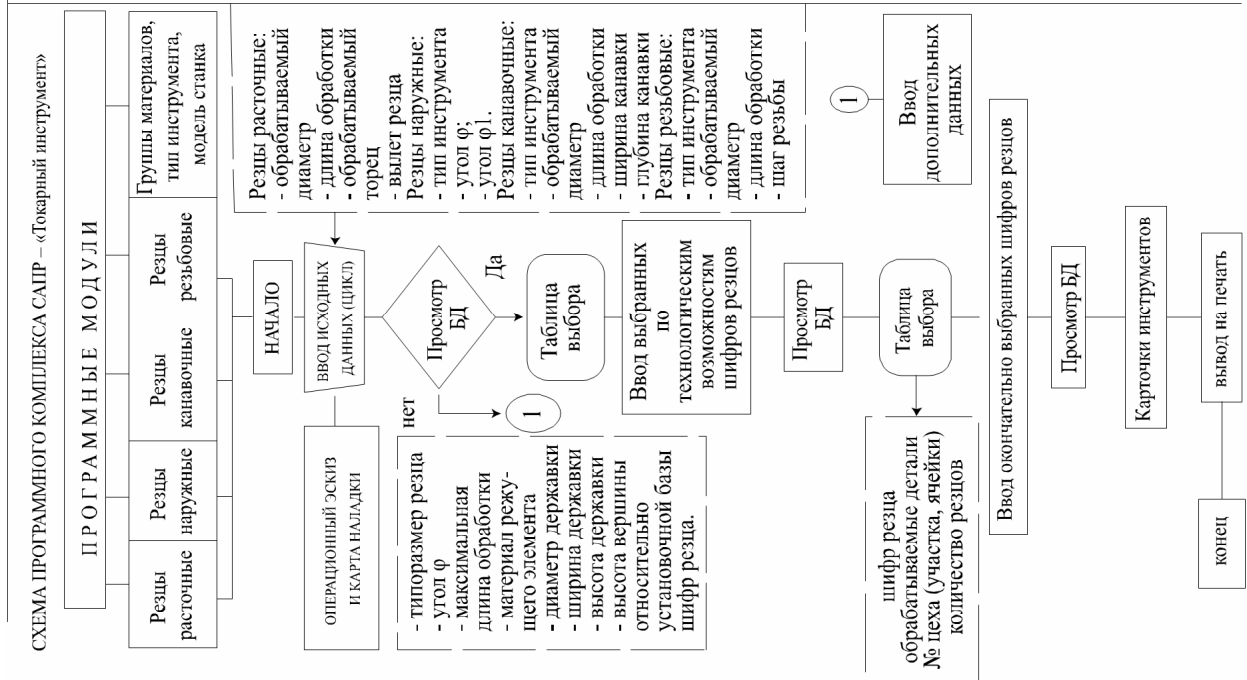


Рис. 1. Блок-схема – система автоматизированного выбора ПИН и ГИН по типажам унифицированных универсальных и специализированных резцов для токарного оборудования с ПУ

Алгоритм синтеза переходов по таблицам-матрицам состоит из следующих действий:

1. Определение номенклатуры проходов по каждой поверхности в их обратной последовательности, т.е. от конечного (финишного) прохода до начального с учётом технологической наследственности [10,13]. Таким образом устанавливается полная номенклатура проходов при выполнении перехода в групповом ТР установка, на детали-операционном эскизе которого указаны все обрабатываемые при этом поверхности.

2. Установление хронологически неразрывной последовательности проходов по поверхностям контуров обработки, которые обходит каждая модель УРИ; при этом состав (номенклатура и последовательность) проходов образует переход.

Переход – номенклатура и последовательность (состав) проходов, выполняемых одной моделью ПИН при неизменной позиции (степенях свободы) заготовки относительно векторов РИ в координатах оборудования.

Этапы выбора режимов оптимального резания (РОР) [6]:

1. Из группы пар материалов по марке ОМ определяем марку ИМ.

2. По ТР обрабатываемой поверхности определяем ТР резца, геометрические параметры в плане: φ , R , φ_1 ; режущего клина (РК): γ , ρ , α , α_1 , а также угол наклона РК- λ .

3. Исходя из требований, предъявляемых к конечным свойствам формируемых поверхностей, определяем требования к исходным поверхностям и количество i - проходов.

4. Несоответствие свойств исходных поверхностей табличным требованиям приводит к введению ещё одного, двух, и т.д. проходов, т.е. ($i = n - 1$) проходов.

5. Режимы прохода выбираются из строки режимов, соответствующей виду, типу и ТР обрабатываемой поверхности (ОП) с конкретной номенклатурой, диапазоном и точностью её свойств [12-15].

6. В зависимости от программы выпуска деталей режимы обработки могут быть выбраны, исходя из максимальной стойкости РИ или максимальной производительности. Первые две строки в каждом диапазоне шероховатости кроме $R_a \leq 0,63$ мкм – режимы максимальной стойкости (скорость V_0). Вторые две строки – это режимы максимальной производительности (скорость $V_Э$). При изготовлении деталей малыми партиями используют режимы максимальной производительности [12-15].

7. Из выбранной строки режимов определяем ресурсостойкость резца или «удельная размерная стойкость» – дробь, в числителе которой площадь обработки в $[дм^2]$ до переточки, соответствующая заданным значениям: погрешности формы, шероховатости поверхности, радиуса сопряжения цилиндрических и торцевых поверхностей, а в знаменателе размерный износ резца [мкм] в направлении к нормали к ОП. Максимальную стойкость и наилучшие перечисленные показатели качества ОП обеспечивает оптимальная скорость резания $V_0 = V_Э$ при обработке ТОМ [12-15].

8. После определения площадей обработки по названным выше параметрам производится их сравнение и по лимитирующему параметру поверхности (площадь обработки наименьшая) устанавливается окончательное значение

достижимой площади ОП определённого качества, которая (в каждом конкретном случае) и будет являться ресурсостойкостью данной ПИН.

9. Каждому значению площади ОП соответствует определённый радиальный размерный износ, который позволяет рассчитать величину и количество подналадок путём ввода коррекции инструмента, необходимой при формировании заданных свойств поверхности в автоматическом режиме.

Заключение

Метод анализа-синтеза может быть эффективно использован как при индивидуальной оптимизации обработки крупносерийных деталей, так и при групповой обработке ответственных и прецизионных деталей в условиях мелкосерийного многономенклатурного производства [4-6, 10, 11].

Применение метода синтеза (восходящего метода) для решения задачи перебора технически возможных вариантов интегрируемых переходов, позиций и установов (детале-операций) на профессиональных ПК при правильном заполнении ТМ технологом средней квалификации даёт возможность получения оптимального для производства ГТП механической обработки токарных и корпусных деталей сложной формы [5, 9-11, 16].

Преимуществами предлагаемого подхода по сравнению с традиционными являются существенное повышение качества разработанной технологии и резкое сокращение сроков технологической подготовки производства [5, 10, 11].

Оптимизация синтеза ГИН для токарных универсальных и станков с ЧПУ позволяет минимизировать количество ТР УРИ в групповом производстве, добиваясь увеличения общего количества высокоточных деталей, обрабатываемых до смены УРИ после достижения максимально допустимого износа каждого из них [6-13].

Первичная подсистема обеспечивает выполнение правила кратчайшего пути и соблюдение принципа единства баз при индивидуальной и групповой обработке [6, 11]. Подсистема синтеза БГТ позволяет быстро и надёжно синтезировать ГИН, обеспечивает максимальную размерную стойкость всех ТР УРИ в ГИН и гарантирует наилучшее качество обработанных поверхностей при минимальных затратах на изготовление деталей, входящих в группу. Таким образом налаживается готовое к внедрению комплексное технологическое обеспечение автоматических линий, обрабатывающих центров, автоматов продольного точения, многоцелевых, универсальных и станков с ЧПУ, как при индивидуальной и групповой оптимизации механической обработки.

Внедрение системы МБГТ: типажей унифицированного РИ и режимов оптимального резания (первичная подсистема МБГТ) в совокупности с использованием методики синтеза ПИН и ГИН приводит к повышению эффективности машиностроительного производства в 1,8-2 раза.

Список литературы

1. Акулович Л.М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении: учеб. пособие / Л.М. Акулович, В.М. Шелег. – Минск: Новое знание. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 488 с.
2. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.

3. Кондаков А.И. САПР технологических процессов: учебник для студентов высших учебных заведений. – М.: Академия, 2007. – 272с.
4. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2009. – 430с.
5. Ракунов Ю.П. Разработка системы многоуровневой базовой технологии // Научно-технические технологии в машиностроении. 2012. №1. С. 40-46.
6. Ракунов Ю.П. Первичная подсистема многоуровневой базовой технологии // Научно-технические технологии в машиностроении. 2012. №3. С. 23-31.
7. Патент №2170160 РФ. Резец / Калмыков В.И., Ракунов Ю.П., Хрульков В.А., Петровская Т.М., Золотова Н.А., Борисенко Н.Н. – Оpubл. 2011, Бюл. №19.
8. Патент №2226453 РФ. Многократно перетачиваемый резец / Ракунов Ю. П., Хрульков В.А., Золотова Н.А., Тихонов Н.А. – Оpubл. 2004, Бюл. № 10.
9. Ракунов Ю.П. Оптимизация синтеза инструментальных наладок для станков с ЧПУ // Конструктор-машиностроитель. – 2010. – № 3, 5.
10. Ракунов Ю.П. Подсистема синтеза многоуровневой базовой технологии // Научно-технические технологии в машиностроении. 2012. №10. С. 36-46.
11. Ракунов Ю.П., Абрамов В. В. Разработка САПР оптимальных групповых процессов токарной обработки на станках с ЧПУ // Справочник. Инженерный журнал. Приложение. 2015. № 7. С. 1-29.
12. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. – М., Машиностроение, 1976. – 278 с.
13. Ракунов Ю.П. Управление качеством токарной обработки высокоточных деталей машин // Научно-технические технологии в машиностроении. 2013. №2. С. 36-48.
14. Ракунов Ю.П., Абрамов В.В. Сравнение методов оптимизации режимов резания при механической обработке деталей машин // Механизация строительства. 2015. №11. С. 22-26.
15. Ракунов Ю.П., Абрамов В.В., Ракунов А.Ю. Роль скорости резания и радиуса округления режущего клина в эффективности тонкой механической обработки труднообрабатываемых материалов // Станкоинструмент. 2020. №1. С. 66-72; №2. С. 76-81.
16. Торпачев А.В. Применение восходящего метода проектирования технологических процессов механической обработки деталей аэрокосмической техники // Технология машиностроения. 2011. №1. С. 12-16.

Сведения об авторе:

Ракунов Юрий Павлович – к.т.н., доцент.