

Экспериментальные исследования применения методики казахстанской системы автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления деталей горных машин и разработка рекомендаций

Жетесова Г.С., Юрченко В.В., Никонова Т.Ю., Жаркевич О.М., Матешов А.К.

Карагандинский государственный технический университет

г. Караганда, Республика Казахстан

zhetessova@mail.ru, juvv76@mail.ru, nitka82@mail.ru, zharkevich@mail.ru, makashka@mail.ru

Аннотация. В статье авторами проводится анализ сложившейся ситуации на рынке существующих программ автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении. Отмечены недостатки имеющихся систем в современных условиях машиностроительных предприятий Республики Казахстан. Авторами предлагается новый подход к разработке методики систем автоматизированного проектирования, которая позволит значительно сократить сроки внедрения в производство новых проектно-конструкторских разработок, что является необходимым условием выхода разработанного и адаптированного национального продукта (программы САПР ТП) на зарубежный рынок, снижением технологической зависимости Республики и повышением международного авторитета Казахстана.

Ключевые слова: машиностроение, система автоматизированного проектирования, технологический процесс, компьютерное моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Тип производства современных машиностроительных предприятий Республики Казахстан является в основном единичным, мелкосерийным и в редком случае среднесерийным. Также в большом количестве существуют ремонтные предприятия. Как известно, при такой организации производства номенклатура выпускаемых изделий обширна, сроки выпуска готовых изделий ограничены, из-за чего время на технологическую подготовку производства очень сжато, при этом процесс разработки технологических процессов очень трудоемок и связан с возникновением большого количества ошибок. В среднем сроки проектирования технологических процессов для деталей типа “Вал” составляют до 5-7 дней, для деталей типа “Корпус” – от 7 до 14 дней.

Основными трудностями ручного проектирования является невозможность однозначного принятия решений на определенном уровне, так как значения критериев для выбора конкретного элемента технологического процесса станут известны только на последующих этапах проектирования, а зачастую в самом конце проектирования.

Неоднозначность выбора определенных решений на промежуточных стадиях проектирования, приводит к

необходимости в разработке большого количества вариантов технологических процессов, которые можно оценить только в конце проектирования. При этом необходимо учитывать огромное количество критериев для объективной оценки получаемых вариантов. В связи с этим рекомендуется проводить окончательный, но уже субъективный выбор оптимального технологического процесса как минимум из трех наиболее подходящих решений, основываясь на технико-экономической оценке конечного проекта. Из-за того, что сформированные варианты технологических процессов имеют огромное количество данных, технолог с большой долей вероятности примет неверное решение, приводящее в лучшем случае к отладке технологии в процессе производства, а в худшем получении брака и большим потерям, как материальном, так и денежном выражении. Поэтому для принятия окончательных решений требуются технологи высокой квалификации с большим опытом работы, что на сегодняшний день является огромной проблемой для машиностроительных предприятий в связи с их нехваткой или отсутствием вообще. В результате чего технологические процессы разрабатываются на уровне маршрутной технологии, укрупненно, без их детальной проработки. В большинстве случаев разрабатывается один единственный вариант и не всегда самый лучший. При этом в технологической документации отсутствуют данные необходимые для технологической подготовки производства, что накладывает большую ответственность на инженерных и производственных работников, а также занятых в изготовлении станочников, которые на сегодняшний день также мало квалифицированы. Все это приводит к возникновению больших временных и материальных затрат. Если рассматривать возникающие проблемы при производстве деталей горных машин, что характерно для в частности для Карагандинской области – одного из самых крупных промышленных регионов РК, то они возникают помимо указанных причин еще и с большой массой и габаритами этих деталей, а также дополнительными требованиями, предъявляемыми исходя из жестких условий эксплуатации.

АКТУАЛЬНОСТЬ И НАУЧНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Одним из выходов из сложившейся ситуации является использование автоматизации технологической подготовки производства и в частности разработка и применение систем автоматизированного проектирования технологических процессов. На сегодняшний день существует достаточно большое количество таких систем от различных разработчиков. Основным недостатком таких автоматизированных систем состоит в том, что при их работе приходится анализировать и корректировать результаты проектирования технологических процессов в соответствии с конкретной текущей ситуацией на производстве. Сложившаяся ситуация в значительной мере связана с наличием в теории и методологии технологического проектирования большого количества рекомендаций по применению того или иного технологического решения, которые не поддаются формализации и применяются только для конкретных случаев. Подавляющее большинство существующих САПР построены в лучшем случае на использовании типовых решений, и зачастую инженер-технолог сам принимает решения, основываясь на своем личном опыте или опыте сложившимся на самом предприятии. Формализация процесса проектирования и технологии, на основе которой будет создана система автоматизации проектирования, даст возможность проектирования технологических процессов для самых разнообразных изделий, в том числе новых, ранее не поступавших в производство. Таким образом, создание системы автоматизации технологической подготовки производства, объединяющей различные по характеру и содержанию задачи технологии машиностроения является актуальной задачей.

Анализ автоматизированных систем, проведенный за последние 10 лет [1-14], показал, что развитие достигло значительного уровня. Были рассмотрены следующие системы: ТехноПро, Вертикаль V3, Компас-Автопроект, Techcard, АГАТ, МАЛАХИТ, SprutTP, Techwind, Технолог-Гепард, NATTA, ТЕМП, TechnologiCS, T-FLEX Технология 11, 1С:PDM Технология, "Автомат", АРБАТ, КАРУС, ТЕМП-2, АДЕМ САПР, иностранные САПР ТП: Metalink, Technomatix, Solumina (IBaseT), Delmia, Notixia, Metamatrix, Proplanner.

Развитие получают системы работающие главным образом в диалоговом режиме.

В системах с диалоговым режимом работы подразумевается составление планов обработки поверхностей на основе корректировки существующего технологического процесса (ТП), типового технологического процесса (ТТП), группового технологического процесса (ГТП) [2]. Для таких систем разработана и реализована методика [3] проектирования технологических процессов изготовления деталей, основанная на сочетании унифицированных и синтезированных технологических решений. Методика предполагает наличие информационных массивов по типовым последовательностям и траекториям обработки унифицированных элементов деталей. При отсутствии таковых предложен подход к их созданию, включающий предварительное группирование деталей, анализ чертежей и формирование унифицированных конструктивно-технологических элементов деталей и технологических решений по их обработке. Также предложена методика [3] формирования многономенклатурных ТП из унифицированных технологических элементов, предусматривает со-

здание базиса унифицированных элементов ТП, каждый из которых содержит полную информацию об используемых технологических базах, оборудовании, инструменте, соответствующую часть управляющей программы для станка с числовым программным управлением (ЧПУ) и математическую модель для оптимизации режима обработки и процедуры нормирования.

Для работы в таких системах предлагается метод неслучайного, систематического определения новых эффективных способов механической обработки. Метод предопределяет использование компьютера на одной из стадий проектирования – при поиске наиболее производительных вариантов формообразования из числа теоретически возможных. В основу автоматизированного поиска вариантов формообразования положен алгоритм, использование которого требует от проектировщика, работающего с компьютером в диалоговом режиме, необходимой для математического преобразования исходной информации.

В развитии систем, в которых составление планов и операций обработки происходит в автоматизированном или автоматическом режиме, наметилась тенденция в совершенствовании алгоритмов синтеза методов обработки. В таких системах предполагается проектирование на основе базы технологических знаний. При этом метод [1], реализуемый в системе, предполагает формирование базы технологических знаний (БТЗ) в виде фреймов (упорядоченных наборов данных) и «ноу-хау» технолога-проектировщика. БТЗ содержит текущую информацию о состоянии ГПС и изготавливаемой номенклатуры изделий, а «ноу-хау» технолога проектировщика представляет собой комбинационную систему, определенную над БТЗ. При этом уровень автоматизации проектирования ТП и оптимизации технологических решений определяется достигнутым уровнем формализации проектных процедур [4, 5].

В целях повышения адаптивности и мобильности системы, а также для реализации комплексного подхода в решении задач ТПП построена система [6] на основе инвариантных инструментальных подсистем. Практически вся система представляет собой инструмент для создания САПР, решающего конкретные технологические задачи. Технологические знания представлены в виде таблиц и графов, корректировка которых не затрагивает программного обеспечения. Основой инструментального подхода является единый и независимый информационный поток.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Из проведенного анализа существующих систем видно, что решение большинства задач технологического проектирования базируется на использовании профессиональных знаний и опыта проектировщика, т.е. обучаемого и постоянно совершенствуемого специализированного интеллекта человека. Это в значительной мере объясняется тем, что подавляющее большинство задач проектирования являются трудно- или неформализуемыми в их современных постановках. Установлено, что имеющиеся автоматизированные системы не решают проблемы автоматизации проектирования и не могут быть использованы для проектирования технологии изготовления конструкций, которые ранее на практике не применялись.

В связи со сложившейся ситуацией рассмотренные системы автоматизации не приемлемы в Республике Казахстан, так как предназначены для условий крупносерийно-

го и массового производств, а также требуют участия высококвалифицированных специалистов (инженеров технологов), имеющих большой производственный опыт.

Современное машиностроительное производство Республики Казахстан является единичным и мелкосерийным, многономенклатурным с частой сменой выпускаемых изделий. Выпускаемая продукция характеризуется повышенной конструктивной сложностью, большим числом оригинальных и уникальных конструкторских решений, реализация которых сопровождается высокими требованиями к качеству, надежности и ресурсу изделий. Повышение конструктивной сложности, качества изделий, быстрое их обновление наблюдается повсеместно во всех машиностроительных областях; без этого невозможно удовлетворять растущие потребности в продукции машиностроения.

В контексте инновационно-индустриального развития РК возросли требования к сокращению сроков разработки технологии (технологических процессов и средств их оснащения) при улучшении ее качества и повышению производительности. Особо актуальным это становится при широком развитии производственных систем. Эффективное использование этих систем требует автоматизации технологической подготовки, в том числе проектирования технологии изготовления, которая является наиболее трудоемкой.

В настоящее время наметился разрыв между интенсификацией собственно производства и темпами его технологической подготовки. Низкие темпы подготовки производства сдерживают производственный темп и значительно снижают эффективность мер по усовершенствованию производства. Важнейшим средством интенсификации производства в машиностроении является автоматизация проектирования технологии, которая должна обеспечить интенсификацию труда инженеров и техников, экономию трудовых ресурсов, что позволит повысить качество работы технологических служб и, в конечном счете, улучшить технологию изготовления продукции и ее качество. Предлагаемые в программе решения позволят выйти Казахстанской продукции на международный уровень и обеспечить импортозамещение.

Применение методики и системы автоматизации проектирования технологических процессов обеспечит резкое сокращение сроков внедрения в производство новых проектно-конструкторских разработок, что является необходимым условием повышения их эффективности. Международные эффекты обусловлены возможностью выхода разработанного и адаптированного национального продукта на зарубежный рынок, снижением технологической зависимости Республики и повышением международного авторитета Казахстана.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Анализ разработанного технологического процесса должен быть проведен с точки зрения обеспечения заданного качества продукции. Иными словами, при анализе технологического процесса следует выяснить, правильно ли он составлен для обеспечения требований чертежа и соблюдаются ли все требования технологического процесса в цехе [15, 16].

Для выполнения этой работы в определенной последовательности рекомендуется следующий примерный перечень вопросов:

- а) рациональность метода получения заготовки для данного масштаба производства;
- б) соответствие реальной заготовки чертежу в отношении фактических припусков на обработку и выполнения прочих технических требований;
- в) правильность выбора черновых, чистовых и промежуточных баз на операциях технологического процесса, соблюдение принципа единства технологических баз;
- г) правильность установки последовательности операций процесса для достижения заданной точности детали;
- д) соответствие параметров установленного оборудования требованиям данной операции;
- е) соответствие режимов резания прогрессивным;
- ж) степень оснащенности операций;
- з) применяемость высокопроизводительного режущего инструмента и новых марок материалов его режущей части;
- и) соблюдение технологического процесса на операциях и качество обработки деталей;
- к) степень концентрации операций технологического процесса и т. д.

Качество обработки деталей на каждой операции оценивается на основании данных о браке. Первоначальным источником о количестве брака по операциям могут служить данные, полученные из отдела технического контроля. Однако для большей объективности следует руководствоваться личными наблюдениями и результатами измерений важнейших параметров на операциях технологического процесса.

Следует также проанализировать причины появления брака и обратить внимание на реальное состояние оборудования в отношении возможности обеспечения заданной точности на операциях.

Правильность разработки технологического процесса будем использовать себестоимость $C(T)$ изготовления детали по технологическому процессу T . Оптимальным T_{opt} будет вариант технологического процесса, имеющий минимальную величину C :

$$C(T_{opt}) = \min C(T) \quad , \quad (1)$$

где T принадлежит MT ; MT – множество допустимых вариантов технологических процессов.

Множество MT допустимых вариантов является очень большим (сотни и тысячи возможных вариантов), поэтому задача оптимизации ТП является весьма трудоемкой и сложной. Технолог физически не может спроектировать такое количество вариантов. Поэтому разработка технологических процессов носит субъективный характер и качество спроектированных технологических процессов зависит от опыта и квалификации технолога, который их разработал. Так как от качества технологических процессов во многом зависит прибыль предприятия, то задача разработки оптимальных ТП является весьма актуальной.

Система проектирования ТП имеет многоуровневый характер, поэтому различают три уровня оптимизации:

- уровень маршрута;
- уровень операции;
- уровень перехода.

Оптимизация ТП выполняется по уровням: оптимизация операций осуществляется на основе использования оптимизированных переходов, а оптимизация процесса в целом (уровень маршрута) выполняется на основе оптимизированных операций. При такой иерархической оптимизации оптимизация на заданном уровне имеет глобальный характер по отношению к более низкому уровню и локальный характер по отношению к более высокому уровню.

Различают два вида оптимизации:

- структурная оптимизация;
- параметрическая оптимизация.

Оптимизация на уровне маршрута и операции является структурной, так как связана в основном с выбором структуры процесса или операции, в тоже время оптимизация на уровне перехода является параметрической, так как достигается путем варьирования параметрами перехода.

Множество МТ допустимых вариантов является очень большим и может быть задано не аналитически, а алгоритмически, т. е. в виде правил, имеющих как формальный, так и не формальный характер, поэтому возникают сложности с применением различных методов оптимизации. При структурной оптимизации наиболее общими методами оптимизации являются поисковые методы оптимизации. При параметрической оптимизации могут быть применены известные методы линейного и нелинейного программирования.

Поисковые методы оптимизации используются, так как не накладывают особых ограничений на критерий оптимизации и область существования решений. Суть поисковых методов оптимизации заключается в нахождении последовательности вариантов технологических процессов:

$$T_1 \dots T_i \dots T_n \quad (2)$$

где каждый последующий вариант предпочтительнее предыдущего, т.е. $C(T_i) > C(T_{i+1})$.

В пределе указанная последовательность должна сходиться к достаточно малой окрестности решения, т. е. варианту близкому к оптимальному. Наиболее часто применяют следующие поисковые методы оптимизации:

- метод случайного поиска;
- метод регулярного поиска;
- метод направленного поиска.

Выбор оптимального варианта ТП методом случайного поиска предполагает проектирование случайной последовательности вариантов технологического процесса с отбором вариантов, имеющих минимальную себестоимость по сравнению с предшествующими. Если провести усредненную кривую через точки для отобранных вариантов, то кривая себестоимости постепенно приближается к оптимальному в заданных условиях значению себестоимости процесса.

Необходимо обратить внимание на то, что главным в проблеме оптимизации технологических процессов является структурная оптимизация как наиболее сильно влияющая на критерий оптимизации $C(T)$. Варьирование структурой процесса может в несколько раз изменить себестоимость ТП. Параметрическая оптимизация носит подчиненный характер и ее влияние на себестоимость ТП не превышает 10-20 %.

На данном этапе выполняется поиск (отбор) численной информации, находящейся в базовом ТП и нормативной документации:

1) определение технико-экономических показателей операций, учитывающих затраты на:

- а) материалы;
- б) заработную плату основных рабочих;
- в) заработную плату наладчиков;
- г) амортизацию оборудования;
- д) амортизацию и ремонт приспособлений;
- е) амортизацию, заточку и ремонт режущего инструмента;
- ж) силовую электроэнергию.

2) ввод найденных данных и определение себестоимостей отдельных операций при различных размерах партий внутри предпочтительного диапазона партий.

3) определение суммарной себестоимости ТП на всем предпочтительном диапазоне партий.

4) выполнение пунктов 1...3 для сравниваемых вариантов ТП (минимум для 3-х вариантов ТП).

5) выбор ТП с наименьшей суммарной себестоимостью, энергопотреблением, трудозатратами при фиксированном размере партии.

6) ранжирование операций по степени убывания их себестоимости, энергопотребления, трудозатрат при фиксированном размере партии для ТП с минимальными их суммарными значениями.

7) определение количества операций, составляющих 80...90 % стоимости всего маршрутного ТП, и количества операций с наименьшей себестоимостью при фиксированном размере партии.

8) выявление эквивалентных операций по качеству обработанных поверхностей с меньшей себестоимостью, энергопотреблением, трудозатратами.

9) выполнение пунктов 1...3 с учетом выявленных эквивалентных операций.

10) оценка эффективности проделанной работы на основе сравнения суммарных себестоимостей первоначального (с минимальной себестоимостью) и полученного вариантов ТП:

а) при фиксированном размере партии;

б) во всем допустимом диапазоне размера партии, используя графическое представление зависимостей суммарных себестоимостей от размера партии.

Квалиметрическая оценка оптимизации проектных технологических решений. Целью технологического проектирования является разработка объектов (ТП, операций), оптимальных для заданных условий их применения.

При сравнении технологических операций и процессов применяем следующие абсолютные и относительные критерии.

Основное, штучное и штучно-калькуляционное время применяют при первичном, приближенном оценивании вариантов технологических операций. Более предпочтительному варианту соответствует меньшее значение каждой из приведенных величин. Этот критерий не может быть применен для окончательного выбора варианта, но позволяет выделить более производительный вариант операции.

Коэффициент основного времени:

$$\eta_0 = t_0 / t_{um}, \quad (3)$$

где t_0 – основное время, мин; t_{um} – штучное время, мин.

Критерий используют для сравнения операций. Чем больше (ближе к единице) значение η_0 , тем эффективнее использовано оборудование.

Трудоемкость изготовления детали T_{∂} :

$$T_{\partial} = \sum_{i=1}^{i=N} t_{um-k}, \quad (4)$$

где t_{um-k} – штучно-калькуляционное время для i операции ТП; N – число операций в ТП изготовления детали.

Более предпочтительному варианту ТП соответствует меньшее значение T_{∂} .

Коэффициент основного времени для ТП $(\eta_0)_{mn}$ определяется:

$$(\eta_0)_{zn} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} t_{oi}}{T_{\partial}}, \quad (5)$$

где t_{oi} – основное время для i -ой операции.

Чем ближе значение $(\eta_0)_{mn}$ к единице, тем более предпочтителен вариант ТП.

Себестоимость изготовления детали C определяем по формуле:

$$C = M_0 + Z_0 + Ц_0, \quad (6)$$

где M_0 – стоимость основных материалов или исходной заготовки за вычетом стоимости реализуемых отходов, тг; Z_0 – заработная плата основных производственных рабочих, тг; $Ц_0$ – цеховые расходы (амортизация и ремонт оборудования; затраты на электроэнергию, инструмент; заработная плата вспомогательных рабочих и т.д.), тг.

Варианту более предпочтительному соответствует меньшее значение себестоимости. Точную оценку себестоимости при автоматизированном проектировании получили по формуле:

$$C = M_0 + Z_0(1 + Ц_n/100), \quad (7)$$

где $Ц_n$ – цеховые (накладные) расходы в процентах от заработной платы основных рабочих, тг.

Суммарные (приведенные) затраты $П$ будут:

$$П = C + EK, \quad (8)$$

где E – коэффициент сравнительной экономической эффективности; K – капиталовложения (дополнительные) при реализации ТП.

Чем меньше затраты, тем более предпочтителен вариант ТП.

Кроме приведенных использовали и другие критерии, в том числе и связанные с рассмотренными производительность (технологическая и цикловая), оперативное время, коэффициент загрузки оборудования, экономическая точность, стойкость лимитирующего инструмента, расход инструмента и т.д.

Согласно приведенным формулам и данным, полученным в процессе автоматизированного и ручного проектирования была проведена оценка экспертная оценка разработанных ТП, результаты сравнения сведены в табл. 1, а также по трудоемкости – табл. 2.

Проведенная оценка разработанных ТП, которая показала, что ТП спроектированные в бездиалоговом режиме, эффективнее, разработанных в ручном режиме.

Таблица 1

Результаты сравнения спроектированных ТП

Наименование ТП	Суммарная бальная оценка ТП		Результат сравнения
	заводской ТП	разработанный	
Вал-шестерня ШК04.030.005	6	9	1,5
Вал-шестерня БП40.010.011	5	8	1,6
Вал-шестерня ЧР10.000.003	6	9	1,5
Вал-шестерня МВ00.014.010	5	9	1,8
Корпус редуктора ШК04.030.001	5	8	1,6
Корпус редуктора БП40.010.001	5	8	1,6
Корпус редуктора ЧР10.000.001	6	9	1,5
Корпус редуктора МВ00.014.001	6	9	1,5
Зубчатое колесо ШК04.030.008	6	9	1,5
Зубчатое колесо БП40.010.015	5	8	1,6
Зубчатое колесо ЧР10.000.006	6	9	1,5
Зубчатое колесо МВ00.014.012	6	9	1,5
Муфта ШК04.030.032	5	8	1,6
Муфта БП40.010.016	6	9	1,5
Муфта ЧР10.000.018	5	9	1,8

Таблица 2

Результаты сравнения спроектированных ТП по трудоемкости проектирования

Наименование ТП	Трудоемкость проектирования, час		Результат сравнения
	заводской ТП	разработанный	
Вал-шестерня ШК04.030.005	12	4,8	2,5
Вал-шестерня БП40.010.011	18	5	3,6
Вал-шестерня ЧР10.000.003	14	5,2	2,7
Вал-шестерня МВ00.014.010	16	5,7	2,8
Корпус редуктора ШК04.030.001	112	35	3,2
Корпус редуктора БП40.010.001	120	26	4,6
Корпус редуктора ЧР10.000.001	96	27	3,5
Корпус редуктора МВ00.014.001	132	29	4,5
Зубчатое колесо ШК04.030.008	6	2,4	2,5
Зубчатое колесо БП40.010.015	7	2,7	2,6
Зубчатое колесо ЧР10.000.006	8	2,3	3,5
Зубчатое колесо МВ00.014.012	9	2,6	3,5
Муфта ШК04.030.032	10	2,8	3,6
Муфта БП40.010.016	8	3,2	2,5
Муфта ЧР10.000.018	12	3,2	3,8

Численная многовариантная оценка себестоимости технологического процесса.

Определим структуру цеховой себестоимости технологической операции в относительных величинах на основе существующих методик оценки цеховой себестоимости.

Приведенные в данном разделе расчеты основываются на различных подходах к расчету цеховой (полной технологической) себестоимости.

Структура цеховой (полной технологической) себестоимости следующая. Цеховая себестоимость, соответствующая годовому объему выпуска детали:

$$C_2 = M_2 + Z_2^0 + I_2 + A_2 + \mathcal{E}_2 + Z_2^H + \Pi_2, \quad (9)$$

где C_2 – себестоимость цеховая (полная технологическая себестоимость), соответствующая годовому объему выпуска детали, тг.; M_2 – затраты на материалы, соответствующие годовому объему выпуска детали, тг.; Z_2^0 – заработная плата (основная и дополнительная) основных производственных рабочих с учетом выплат на обязательное медицинское и социальное страхование, соответствующая годовому объему выпуска детали, тг.; I_2 – затраты на амортизацию, заточку и ремонт универсального и специального режущего инструмента (далее по контексту формул рассчитываются расходы только на ремонт), соответствующие годовому объему выпуска детали, тг.; A_2 – затраты на амортизацию оборудования, соответствующие годовому объему выпуска детали, тг.; \mathcal{E}_2 – затраты на энергию (далее по контексту формул рассчитываются затраты только на силовую электроэнергию), соответствующие годовому объему выпуска детали, тг.; Z_2^H – заработная плата (основная и дополнительная) наладчика с учетом выплат на обязательное медицинское и социальное страхование, соответствующие годовому объему выпуска детали, тг.; Π_2 – затраты на ремонт и амортизацию универсальных и специальных приспособлений, соответствующие годовому объему выпуска детали, тг.

Цеховая себестоимость, соответствующая выпуску партии из n деталей:

$$C_2 = \frac{C_2}{N_2} n = (M_2 + Z_2^0 + I_2 + A_2 + \mathcal{E}_2 + Z_2^H + \Pi_2) \frac{n}{N_2} = (M + Z_0 + I + A + \mathcal{E}) N_2 + (Z_2^H + \Pi_2) \frac{n}{N_2} = ((M + Z_0 + I + A + \mathcal{E})n + (Z_2^H + \Pi_2))n$$

где, M – стоимость заготовки, тг.; Z_0 – заработная плата основных рабочих, тг.; I – затраты на инструмент, тг.; A – затраты на амортизацию станка, тг.; \mathcal{E} – затраты на энергию (силовую электроэнергию), тг.; Z^H – зарплата наладчи-

ка, тг.; Π – затраты на приспособление, приходящиеся на одну деталь, тг./шт. (расчетные формулы в табл. 1, 2).

Здесь $M_2 + Z_2^0 + I_2 + A_2 + \mathcal{E}_2 + Z_2^H + \Pi_2 = C_2$ – текущие затраты на одну деталь, т.е. затраты, повторяющиеся при изготовлении каждой отдельной детали. В состав единовременных затрат $C_{ед}$ включаются затраты на приобретение специальных станков, приспособлений и инструмента, а также на наладку станков.

В табл. 3 представлены элементы себестоимости, приходящиеся на одну деталь.

В формуле (10) не учтены C_6 – затраты на вспомогательные материалы (СОЖ, смазочно-обтирочные материалы), C_m – затраты на амортизацию и ремонт измерительного инструмента, C_p – затраты на ремонт и модернизацию оборудования, $C_{пл}$ – затраты на ремонт и амортизацию отопления, освещения и уборку производственных помещений, C_o – затраты на общецеховые расходы (заработная плата вспомогательных рабочих, ИТР, служащих, расходы по охране труда и т.п.).

В табл. 3 применены следующие временные характеристики технологического процесса: t_0 – основное время, мин; $t_{всн}$ – вспомогательное время, мин; $t_{обс}$ – время обслуживания рабочего места, мин; $t_{неп}$ – время на личные потребности, мин; $t_{н.з}$ – подготовительно-заключительное время, мин.

Определим, во сколько раз полная технологическая себестоимость партии деталей превышает часть зарплаты рабочего, приходящуюся на машинное время обработки одной детали. Для этого разделим обе части формулы (10) на $(K_{зарп}^0 t_M)$.

$$C_n = C_n' = (C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5)n + C_p \quad (11)$$

где:

$$C' = C / (K_{зарп}^0 t_M), \quad (12)$$

где C — полная технологическая себестоимость одной детали, тг./шт.;

$$C_1 = M / (K_{зарп}^0 t_M), \quad (13)$$

$$C_2 = t_{ум} / t_M = 1 + (t_{всн} + t_{обс} + t_{неп}) / t_M = 1 = C_2 \quad (14)$$

Таблица 3

Элементы себестоимости, приходящиеся на одну деталь, тг./шт

Название элемента себестоимости	Расчетная формула	Пояснения к расчетной формуле
Стоимость заготовки	M	M – стоимость одной заготовки, тг./шт.
Зарботная плата основных рабочих, приходящаяся на одну деталь, тг./шт.	$Z^0 = K_{зарп}^0 t_{ум}$	$K_{зарп}^0$ – заработная плата (основная и дополнительная) основных производственных рабочих с учетом выплат на обязательное социальное страхование, получаемая ими за час, тг./ч
Затраты на инструмент, приходящиеся на одну деталь, тг./шт.	$I = K_{инстр} t_M$	$K_{инстр}$ – затраты на один час работы инструмента (здесь имеется в виду один час резания), тг./ч
Затраты на амортизацию станка, приходящиеся на одну деталь, тг./шт.	$A = K_{аморт} t_M$	$K_{аморт}$ – величина амортизации станка, приходящаяся на один час его работы, тг./ч
Затраты на электроэнергию, приходящиеся на одну деталь, тг./шт.	$\mathcal{E} = K_{э}' t_M$ $K_{э}''(t_{всн} + t_{обс} + t_{неп}) K_{э}'''$	$K_{э}'$ – мощность, необходимая для осуществления холостых ходов станка, кВт; $K_{э}''$ – мощность, необходимая для осуществления процесса обработки, кВт; $K_{э}'''$ – стоимость 1 кВт·ч
Зарплата наладчика, приходящаяся на одну деталь, тг./шт.	$Z^H = K_{зарп}^H t_{н.з} / n$	$K_{зарп}^H$ – заработная плата (основная и дополнительная) наладчика с учетом выплат на обязательное медицинское и социальное страхование, получаемая им за час, тг./ч
Затраты на приспособление, приходящиеся на одну деталь, тг./шт.	$n = \Pi_2 / N_2$	Π_2 – затраты на приспособление, приходящиеся на годовой объем выпуска данного наименования детали, тг./г.

В итоге получаем:

$$C'_n = (1 + C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C'_2(1 + C_4 + C_5))n + C_7 \quad (15)$$

где $K^0_{зарпt_m}$ – часть зарплаты основного рабочего, приходящаяся на машинное время, и является “стоимостью машинного времени”, тг/мин; $K^0_{зарптум}$ – “стоимость штучного времени”, тг/шт.

Нормативы затрат, приходящихся на единицу времени (штучного, машинного, подготовительно-заключительного) представлены в табл. 4.

Полная технологическая себестоимость партии деталей превышает часть зарплаты рабочего, приходящуюся на машинное время обработки одной детали:

$$C_n = C'_n = (C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6)n + C_p \quad (16)$$

где

$$C' = C / (K^0_{зарпт_m}) \quad (17)$$

C – полная технологическая себестоимость одной детали, тг./шт.;

$$C_1 = M / (K^0_{зарпт_m}) \quad (18)$$

$$C_2 = t_{ум} / t_m = 1 + (t_{всн} + t_{обс} + t_{неп}) / t_m = 1 = C_2 \quad (19)$$

Число, показывающее, во сколько раз стоимость инструмента превышает “стоимость машинного времени”

$$C_3 = K_{инстр} / K^0_{зарп} \quad (20)$$

$$C_4 = \frac{K_{амортум}}{K^0_{зарпт_m}} = \frac{K_{аморт}}{K^0_{зарп}} C_2 = \frac{K_{аморт}}{K^0_{зарп}} + \frac{K_{аморт}}{K^0_{зарп}} C'_2 = C_4 + C'_4, \quad (21)$$

$$C_5 = \frac{K'_3 K''_3}{K^0_{зарпт_m}} + \frac{K'_3 K''_3 (t_{всн} + t_{обс} + t_{неп})}{K^0_{зарп} t_m} = \frac{K'_3 K''_3}{K^0_{зарп}} + \frac{K'_3 K''_3}{K^0_{зарп}} C'_c = C_5 + C'_5, \quad (22)$$

$$C_6 = \frac{\frac{П_z}{N_z}}{K^0_{зарпт_m}}, \quad (23)$$

где $K^0_{зарпт_{н.з}}$ – “стоимость подготовительно-заключительного времени”; C' – число, показывающее, во сколько раз полная технологическая себестоимость превышает “стоимость машинного времени”; C_1 – число, показывающее, во сколько раз стоимость изготовления заготовки превышает “стоимость машинного времени”; C_2' – число, показывающее, во сколько раз время, не связанное непосредственно с обработкой детали, превышает машинное время (или же во сколько раз “стоимость времени, не связанного непосредственно с обработкой детали” превышает “стоимость машинного времени”); C_2 – число, показывающее, во сколько раз “стоимость штучного времени” превышает “стоимость машинного времени”; C_3 – число, показывающее, во сколько раз стоимость инструмента превышает “стоимость машинного времени”; C_4 – число, показывающее, во сколько раз стоимость эксплуатации станка за время $t_{ум}$ превышает “стоимость машинного времени”; C_4' – число, показывающее, во сколько раз стоимость энергозатрат непосредственно на резание превышает “стоимость машинного времени”; C_5 – число, показывающее, во сколько раз стоимость энергозатрат в холостом режиме превышает “стоимость машинного времени” (здесь время, затрачиваемое на холостые ходы, определяется из соотношения $t = t_{ум} - t_m$); C_6 – число, показывающее, во сколько раз стоимость приспособления превышает “стоимость машинного времени”; C_7 – число, показывающее, во сколько раз “стоимость подготовительно-заключительного времени” на партию деталей превышает “стоимость машинного времени” на одну деталь.

В группу чисел:

1) $C_1 + C_3 + C_4 + C'_5 + C_6$ входят относительные показатели, связанные с изготовлением заготовки, затратами на инструмент, затратами на амортизацию станка, энергозатра-

Таблица 4

Нормативы затрат, приходящихся на единицу времени (штучного, машинного, подготовительно-заключительного), тг./ч

Норматив затрат на единицу времени	Категория времени	Расчетная формула	Пояснения к расчетной формуле
Часовая заработная плата основных производственных рабочих, тг./ч	$t_{ум}$	$K^0_{зарп} = K_3 C_{ч.з.о}$	$C_{ч.з.о}$ – средняя часовая тарифная ставка основных производственных рабочих, тг./ч; K_3 – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату
Затраты на один час работы инструмента (здесь имеется в виду один час резания), тг./ч	t_m	$K_{инстр} = \frac{Ц_{н.р} + C_{ч.з.з} K_3 n_{пер} t_3}{(n_{пер} + 1) t_{ст}}$	$Ц_{н.р}$ – средняя цена нового режущего инструмента, тг./шт.; $C_{ч.з.з}$ – средняя часовая тарифная ставка заточника, тг./ч; $n_{пер}$ – среднее число переточек в течение срока службы инструмента; t_3 – время, затрачиваемое на переточку инструмента, ч; $t_{ст}$ – стойкость инструмента, ч
Величина амортизации станка, приходящаяся на один час его работы, тг./ч	$t_{ум}$	$K_{аморт} = \frac{Ц_{о.м} a}{F_d K^0_{в.р}}$	$Ц_{о.м}$ – балансовая стоимость единицы оборудования, тг./шт.; a – норма годовых амортизационных отчислений на восстановление (реновацию) оборудования. % от балансовой стоимости оборудования; F_d – действительный годовой фонд времени работы оборудования, ч; $K^0_{в.р}$ – коэффициент загрузки оборудования по времени
Часовые затраты на электроэнергию, затрачиваемую на резание, тг./ч	t_m	$K_э' K_э''$	$K_э'$ – мощность, необходимая для осуществления процесса обработки, кВт; $K_э''$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, тг.
Часовые затраты на электроэнергию, затрачиваемую на холостые ходы станка, тг./ч	$t_{ум} - t_m$	$K_э''' K_э''''$	$K_э'''$ – мощность, необходимая для осуществления холостых ходов станка, кВт;
Часовая заработная плата наладчика, тг./ч	$t_{нл} / N_z$	$K^0_{зарп} = \kappa_3 C_{ч.н}$	$C_{ч.н}$ – средняя часовая тарифная ставка наладчика, тг./ч; κ_3 – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату, отчисления на медицинское и социальное страхование
Часовые затраты на приспособление	$t_{ум}$	$П / t_{ум}$ или $П / (N_z t_{ум})$	$П$ – затраты на приспособление, приходящиеся на выпуск одной детали данного наименования, тг./г.

тами на съём припуска и затратами на приспособление. Эти составляющие связаны непосредственно со временем, затрачиваемым на съём припуска (t_m);

2) $C'_2(I + C_4'' + C_5')$ входят относительные показатели, которые непосредственно не связаны с машинным временем t_m .

Согласно выше приведенным формулам было произведено сравнение ТП по себестоимости изготовления, (табл. 5) квалиметрическими методами [17-20].

Таблица 5

Результаты сравнения ТП по себестоимости изготовления

Наименование ТП	Себестоимость ТП, тыс.тенге		Результат сравнения
	заводской ТП	разработанный	
Вал-шестерня ШК04.030.005	22500	16100	1,4
Вал-шестерня БП40.010.011	20500	13600	1,5
Вал-шестерня ЧР10.000.003	19000	14615	1,3
Вал-шестерня МВ00.014.010	18300	12200	1,5
Корпус редуктора ШК04.030.001	72000	45000	1,6
Корпус редуктора БП40.010.001	63000	45000	1,4
Корпус редуктора ЧР10.000.001	45500	30300	1,5
Корпус редуктора МВ00.014.001	36700	28200	1,3
Зубчатое колесо ШК04.030.008	14500	9600	1,5
Зубчатое колесо БП40.010.015	12500	7800	1,6
Зубчатое колесо ЧР10.000.006	10000	7150	1,4
Зубчатое колесо МВ00.014.012	9300	6200	1,5
Муфта ШК04.030.032	5700	4300	1,3
Муфта БП40.010.016	4500	3000	1,5
Муфта ЧР10.000.018	4000	2500	1,6
Муфта МВ00.014.022	4200	3000	1,4

Проведенное сравнение себестоимости разработанных ТП, показало, что ТП спроектированные в бездиалоговом режиме, дешевле, разработанных в ручном режиме

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система автоматизированного проектирования техпроцессов (САПР ТП), предназначена для автоматизации технологической подготовки производства, автоматизированной разработки технологической документации на детали или сборочные единицы, а также для автоматизированного материального и трудового нормирования техпроцессов.

САПР ТП обеспечивает:

- конфигурирование технологических справочников под задачи предприятия, а при необходимости, подключение нормативно-справочной информации из информационной системы предприятия;
- конфигурирование техпроцесса под специфику производства;
- автоматизированное трудовое и материальное нормирование техпроцесса по алгоритмам, определяемым пользователями системы;
- автоматизированный расчет режимов обработки и резания по алгоритмам, определяемым пользователями системы;
- формирование выходных форм технологической документации согласно ЕСТД.

САПР ТП поддерживает различные методы проектирования:

- диалоговое проектирование;
- проектирование на основе техпроцесса-аналога;
- заимствование технологических решений из ранее разработанных технологий;
- проектирование с использованием библиотек технологических решений;
- проектирование типовых техпроцессов;
- проектирование техпроцесса с учетом новых данных в бездиалоговом режиме.

Весь этот инструментарий обеспечивает технологу максимальную производительность труда и существенно повышает качество результатов.

При использовании САПР ТП достигаются следующие результаты:

- повышение производительности труда технолога;
- уменьшение числа ошибок при проектировании;
- повышение качества работы технолога;
- сокращение сроков технологической подготовки производства;
- повышение оперативности актуальной информации разработанных техпроцессов;
- сокращение сроков и затрат на адаптацию молодых специалистов к конкретным условиям предприятия;
- наполнение и применение базы знаний предприятия по технологическому проектированию новых изделий;
- повышение точности информации, используемой при нормировании и калькуляции затрат.

Внедрение САПР ТП поможет поднять на новый качественный уровень разработку техпроцессов, ускорить технологический цикл подготовки производства, освободить технологов и нормировщиков от рутинной работы.

САПР ТП позволяет решать все задачи технологического проектирования, которые встречаются в работе промышленного предприятия, благодаря очень гибкой настройке системы для любого типа производства.

Для работы с технологическими данными полностью объединен с функциями доступа к составам изделий, номенклатурной и справочной информации.

САПР ТП полностью настраивается под специфику производства и задачи предприятия, что позволяет оптимизировать алгоритмы формирования техпроцесса и его нормирования под особенности производства. Простота адаптации для любых предприятий и организаций: приборостроение, машиностроение, авиационная, электронная промышленность, инструментальное, литейное производство, станкостроение, изготовление металлоконструкций, от единичного и мелкосерийного до крупносерийного и массового производства, учебные заведения.

Таким образом, на основании полученных расчетов можно сделать следующие выводы:

- квалиметрическая оценка разработанных технологических процессов с помощью предложенных математических моделей и методов автоматизированного проектирования в сравнении с разработанными ТП в ручном режиме показала эффективность предложенных решений;
- сравнение технологических процессов численной многовариантной оценкой себестоимости показало снижение стоимости применяемых технологических процессов механической обработки;

- разработанные рекомендации использования САПР ТП механической обработки изготовления деталей горных машин позволили применить предложенные решения на машиностроительных предприятиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондаков А.И. Генерирование вариантов установки заготовок при разработке маршрутных процессов изготовления деталей // Справочник. Инженерный журнал. – 2002. – № 1. – С. 5-13.
2. Зиновьев М.В. Автоматизация подготовки производства зубчатых передач. – Москва: МГИУ, 2007. – 75 с.
3. Жук Д.М. САПР: Системы автоматизированного проектирования: учеб. пособие в 9 кн.: Технические средства и операционные системы. / Д.М. Жук, В. А. Маргыннок, П.А. Сомов. – Минск: Вышэйш.шк., 1998. – Кн. 2. – 320 с.
4. Зарубин В.М. Автоматизированная система проектирования технологических процессов механосборочного производства. / В.М. Зарубин, Н.М. Капустин, В.В. Павлов. – Москва: Машиностроение, 1999. – 247 с.
5. Kanai S. The flexible process planning by combining the advanced CAPP, CAM and measuring system // Proceedings of 16th North American Manufacturing Research Conference. – 2008. – P. 395-402
6. Кондаков А.И. Формирование информационной основы проектирования технологических процессов изготовления деталей // Справочник. Инженерный журнал. – 2001. – № 3. – С. 15-20.
7. Челишев Б.Е. Автоматизация проектирования технологии в машиностроении. / Б.Е. Челишев, И.В. Боброва. – Москва: Машиностроение, 1987. – 264 с.
8. Норенков И.Я. САПР. Принципы построения и структура: учеб. пособие для вузов. – Москва: Высшая школа, 1986. – 435 с.

9. Самодоицкий Н.К. SolidWorks: проектирование на основе баз знаний // САПР и графика. – 2014. – №5. – С. 34-38.
10. Joshi S.B. Design, development and Implementation of an integrated Group Technology and Computer Aided Process Planning system // IIE transaction. – 2004. – Vol. 26. – P. 15-21.
11. Geometric Reasoning for Mill-turn Machin-ing Process Planning / Y.S. Kim, Y. Kim, F. Pariente, E. Wang // Computers and Industrial Engineering. – 2006. – P. 504-508. DOI: 10.1016/S0360-8352(97)00178-2
12. Автоматизация выбора режущего инструмента для станков с ЧПУ: монография. / В.И. Аверченков, А.В. Аверченков, М.В. Терехов, Е.Ю. Кукло. – Москва: ФЛИНТА, 2011. – 151 с.
13. Ушаков Д.М. Введение в математические основы САПР. – Москва: ДМК Пресс, 2011. – 208 с.
14. Малюх В.Д. Введение в современные САПР: Курс лекций. – Москва: ДМК Пресс, 2010. – 192 с.
15. Еленева Ю.А. Экономика машиностроительного производства. – Москва: Академия, 2010. – 256 с.
16. Берзинь И.Э. Экономика машиностроительного предприятия: учебное пособие. – Москва: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010. – 276 с.
17. Жетесова Г.С. Квалиметрия: учебник. / Г.С. Жетесова, А.Ш. Жунусова. – Караганда: КарГТУ, 2013. – 195 с.
18. Азгальдов Г.Г. Квалиметрия для всех. / Г.Г. Азгальдов, А.В. Костин, В.В. Садовов. – Москва: Информ Знание, 2012. – 165 с.
19. Информационные технологии и управление предприятием. / В.В. Баронов, Г.Н. Калянов, Ю.Н. Попов, И.Н. Титовский. – Москва: Компания АйТи, 2009. – 328 с.
20. Jaekoo J. Efficient feature-based process planning for sculpture pocket machining // Computers and Industrial Engineering. – 2008. – p. 564.

DOI: 10.24892/RIJE/20180207

Experimental Studies of the Application of the Methodology of Kazakhstan's CAD of Technological Processes for Manufacturing Parts of Mining Machines and the Development of Recommendations

Zhetessova G.S., Yurchenko V.V., Nikonova T.Yu., Zharkevich O.M., Matashov A.K.

Karaganda State Technical University
Karaganda, Kazakhstan

zhetessova@mail.ru, juvv76@mail.ru, nitka82@mail.ru, zharkevich@mail.ru, makashka@mail.ru

Abstract. The authors analyze the current situation on the market of existing computer-aided design programs for technological processes in mechanical engineering. The drawbacks of the existing systems in the modern conditions of machine-building enterprises of the Republic of Kazakhstan are noted. The authors propose a new approach to the development of methods of computer-aided design, which will significantly reduce the time to implement new design developments in produc-

tion. This is a prerequisite for the release of a developed and adapted national product (CAD program of technological processes) to a foreign market. This reduces the technological dependence of Kazakhstan and increases the international prestige of Kazakhstan.

Keywords: mechanical engineering, computer-aided design, technological process, computer modeling.

REFERENCES

1. Kondakov A.I. Generation of options for installing blanks in the development of routing processes for the manufacture of parts [Generirovanie variantov ustanovki zagotovok pri razrabotke marshrutnykh protsessov izgotovleniya detaley], *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal [Reference. Engineering Journal]*, 2002, no.1, pp. 5-13. (in Russ.)
2. Zinoviev M.V. *Avtomatizatsiya podgotovki proizvodstva zubchatykh peredach* [Automation pre-production gears], Moscow, MGIU, 2007, 75 p. (in Russ.)
3. Zhuk D.M., Margynyuk V.A., Somov P.A. *SAPR: Sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya: ucheb. posobie v 9 kn.: Tekhnicheskie sredstva i operatsionnye sistemy* [CAD: Computer Aided Design: Proc. allowance in 9 books: Technical means and operating systems], Minsk, Vysheysk.shk., 1998, P. 2, 320 p. (in Russ.)
4. Zarubin V.M., Kapustin N.M., Pavlov V.V. *Avtomatizirovannaya sistema proektirovaniya tekhnologicheskikh protsessov mekhanosborochnogo proizvodstva* [Automated system for designing technological processes of mechanical assembly production], Moscow, Mechanical Engineering, 1999, 247 p. (in Russ.)
5. Kanai S. The flexible process planning by combining the advanced CAPP, CAM and measuring system, *Proceedings of 16th North American Manufacturing Research Conference*, 2008, pp. 395-402.
6. Kondakov A.I. Formation of the information basis for the design of technological processes for manufacturing parts [Formirovanie informatsionnoy osnovy proektirovaniya tekhnologicheskikh protsessov izgotovleniya detaley], *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal [Reference. Engineering Journal]*, 2001, no.3, pp. 15-20. (in Russ.)
7. Chelishchev B.E., Bobrova I.V. *Avtomatizatsiya proektirovaniya tekhnologii v mashinostroenii* [Automation of technology design in mechanical engineering], Moscow, Mechanical Engineering, 1987, 264 p. (in Russ.)
8. Norenkov I.Ya. *SAPR. Printsipy postroeniya i struktura: ucheb. posobie dlya vtuzov* [CAD Principles of construction and structure: study guide for technical colleges], Moscow, High School, 1986, 435 p. (in Russ.)
9. Samodoitsky N.K. SolidWorks: knowledge-based design [SolidWorks: proektirovanie na osnove baz znaniy],

SAPR i grafika [CAD and graphics], 2014, no.5, pp. 34-38. (in Russ.)

10. Joshi S.B. Design, development and Implementation of an integrated Group Technology and Computer Aided Process Planning system, *IIE transaction*, 2004, vol. 26, pp. 15-21.
11. Kim Y.S., Kim Y., Pariente F., Wang E. Geometric Reasoning for Mill-turn Machining Process Planning, *Computers and Industrial Engineering*, 2006, pp 504-508. DOI: 10.1016/S0360-8352(97)00178-2
12. Averchenkov V.I., Averchenkov A.V., Terekhov M.V., Kuklo E.Yu. *Avtomatizatsiya vybora rezhushchego instrumenta dlya stankov s ChPU: monografiya* [Automating the selection of cutting tools for CNC machines: a monograph], Moscow, FLINTA, 2011, 151 p. (in Russ.)
13. Ushakov D.M. *Vvedenie v matematicheskie osnovy SAPR* [Introduction to the mathematical foundations of CAD], Moscow, DMK Press, 2011, 208 p. (in Russ.)
14. Malukh V.D. *Vvedenie v sovremennye SAPR: Kurs lektsiy* [Introduction to modern CAD: Course of lectures], Moscow, DMK Press, 2010, 192 p. (in Russ.)
15. Yeleneva Yu.A. *Ekonomika mashinostroitel'nogo proizvodstva* [Economics of engineering production], Moscow, Academy, 2010, 256 p. (in Russ.)
16. Berzin I.E. *Ekonomika mashinostroitel'nogo predpriyatiya: uchebnoe posobie* [Economics of engineering enterprises: a textbook.], Moscow, MSTU. NE Bauman, 2010, 276 p. (in Russ.)
17. Zhetesova G.S., Zhunusova A.Sh. *Kvalimetriya: uchebnyy* [Qualimetry: a textbook], Karaganda, KSTU, 2013, 195 p. (in Russ.)
18. Azgaldov G.G., Kostin A.V., Sadov V.V. *Kvalimetriya dlya vsekh* [Qualimetry for all], Moscow, Inform Knowledge, 2012, 165 p. (in Russ.)
19. Baronov V.V., Kalyanov G.N., Popov Yu.N., Titovsky I.N. *Informatsionnye tekhnologii i upravlenie predpriyatiem* [Information technology and enterprise management], Moscow, IT Co., 2009, 328 p. (in Russ.)
20. Jaekoo J. Efficient feature-based process planning for sculpture pocket machining, *Computers and Industrial Engineering*, 2008, pp. 564.

Библиографическое описание статьи

Жетесова Г.С. Экспериментальные исследования применения методики казахстанской системы автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления деталей горных машин и разработка рекомендаций / Г.С. Жетесова, В.В. Юрченко, Т.Ю. Никонова, О.М. Жаркевич, А.К. Матешов // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. – 2018. – Т.6, №2. – С. 46-55. DOI: 10.24892/RIJE/20180207

Reference to article

Zhetessova G.S., Yurchenko V.V., Nikonova T.Yu., Zharkevich O.M., Mateshov A.K. Experimental studies of the application of the methodology of Kazakhstan's CAD of technological processes for manufacturing parts of mining machines and the development of recommendations, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2018, vol.6, no.2, pp. 46-55. DOI: 10.24892/RIJE/20180207