



Предисловие

Машиностроение является базовой отраслью, определяющей экономическое развитие России. Конкурентоспособность изделий машиностроения в значительной мере определяется реализацией новых научных разработок на промышленных предприятиях нашей страны.

Публикуемая далее статья, убедительно показывает, что создание нового оборудования на Уралмашзаводе происходило при активном сотрудничестве инженерно-технического персонала предприятия с учеными различных советских вузов и академических институтов. Положительный опыт этой работы послужил поводом для опубликования данной статьи в журнале.

Главный редактор
д.т.н., проф. А.Г. Суслов

УДК 621.771, 681.51

DOI: 10.12737/article_5a313b6558b440.24460803

Б.Н. Поляков, д.т.н.

(Российский государственный профессионально-педагогический университет, 620012, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11)

E-mail: Bpoliakov@hotmail.com

Опыт внедрения САПР прокатного оборудования на Уралмашзаводе

Представлены хронология и последовательность работ более чем за 20-летний период по созданию пакетов различных компьютерных программ, которые сформировали фундамент будущей системы автоматизированного проектирования (САПР) технологий и прокатного оборудования на Уралмашзаводе. Даны описания наиболее эффективных пакетов компьютерных программ для решения задач оптимизации различных процессов деформации заготовок, параметров механизмов и их приводов, конструктивных параметров несущих деталей и сложных конструкций с позиций достижения прочности и долговечности.

Ключевые слова: САПР; Уралмашзавод; оптимизация; компьютерные программы; несущие детали; прочность.

B.N. Polyakov, D. Eng.

*(Russian State Professional-Pedagogical University,
11, Mashinostroiteley Str., Yekaterinburg, Sverdlov Region, 620012)*

Experience in CAD system introduction of rolling-mill machinery at Uralsmashzavod

A chronology and a sequence of works for more than 20 years in the development of different computer program packages which have formed a basis of a future CAD system of technologies and rolling-mill equipment at the enterprise of Uralsmashzavod are presented. The descriptions of the most efficient software packages are given to solve the optimization problems in different processes of blank deformation, parameters of mechanisms and their drives, design parameters of load-bearing parts and complex units from the point of view of strength and life obtaining.

Keywords: CAD system; Uralsmashzavod; optimization computer programs; structural components; durability.

За годы «перестройки» существенно понижился производственный потенциал отечественного машиностроения, в том числе и в равной мере, это относится и ко многим предприятиям тяжёлого машиностроения. Например, сегодняшний уровень производственных возможностей Уралмашзавода несоизмеримо и резко контрастирует с достославным периодом 50-70-х гг. прошедшего столетия – временем максимальной активности трудового коллектива и, в частности, конструкторских подразделений завода.

Отмеченные годы – это «золотой век», ренессанс конструкторской, научной и производственной деятельности Уралмашзавода – авторитетнейшего, знаменитого и уникального предприятия отечественного тяжёлого машиностроения. В этот замечательный период были созданы самые высокопроизводительные и впервые в мире автоматизированные блюминги 1300 (1964 г.), построена в цехе № 36 Уралмашзавода опытно-промышленная установка непрерывной разливки стали (УНРС) радиального типа (1964 г.), а в дальнейшем введена в эксплуатацию УНРС криволинейного типа (1968 г.) на Нижне-Тагильском меткомбинате (НТМК), были созданы проекты и построены термоотделения для закалки рельсов на НТМК (1968 г.) и на Кузнецком меткомбинате (1978 г.), создан первый отечественный автоматизированный универсально-балочный стан на НТМК (1977 г.), разработан эффективный проект унификации оборудования всех обжимных станков Союза и осуществлена реконструкция многих из них, а также выполнено много других оригинальных конструкторских разработок станков холодной прокатки, прессового, горного и бурового оборудования.

Именно в этот замечательный период интересных и увлекательных конструкторских работ были сделаны первые, весьма скромные шаги в применении электронно-цифровых вычислительных машин (ЭВМ или ЭЦВМ), в частности, для решения математических задач, возникающих в процессе проектирования прокатного оборудования, которые (шаги) постепенно, в своей совокупности, сформировали крепкую основу для создания будущей системы автоматизированного проектирования (САПР).

Прежде всего, необходимо обратить внимание на следующее обстоятельство. Мы – будущие инженеры-механики – студенты 1950-х гг., проходя «свои университеты», не изучали самостоятельных (среди основных дисциплин) или специальных курсов ни по вычислительной технике, ни по программированию. И, естественно, имели лишь поверхностные представления об этих научных новациях. К этому времени имелась только книга Н. Винера «Кибернетика и общество», которая серьёзно заставляла задуматься об автоматизации проектирования.

Кроме того, в это время были математики и

одни из первых программистов Свердловского отделения Математического института им. В.А.Стеклова АН СССР (сейчас Институт математики и механики УрО РАН Екатеринбург), которые в определённой мере оказали влияние на проектировщиков-конструкторов. Первым настольным пособием по программированию становится книга авторов А.И. Китова и Н.А. Криницкого «Электронные цифровые машины и программирование».

Эволюционный процесс накопления практического опыта в работе с ЭВМ естественно формировался по индуктивному методу: от простых задач – к более сложным. Первая «встреча» с ЭВМ «Урал-1» у нас состоялась в 1962 г. на предмет решения трансцендентного алгебраического уравнения. В дальнейшем «Урал-1» применяли для решения систем нелинейных уравнений невысокого порядка и аппроксимации различных экспериментальных данных, используя методы, замечательно и просто изложенные в книге А. Н. Крылова – «Лекции о приближенных вычислениях».

На Уралмашзаводе первым вычислительным центром (ВЦ) был большой зал, плотно заполненный однотипными шкафами, образующими ЭВМ «Урал-1», постоянный раздражающий гул и шум АЦПУ (устройств ввода и вывода информации) и громадные электронные лампы, которые в упаковке носили на своих плечах электрощиты.

Создание проекта архитектуры будущей системы САПР, конечно, не предполагалось и не планировалось. Да и слово – «САПР» было для нас неизвестным. И разговоров о такой системе не было и не могло быть в те времена. Всё начиналось с конкретных расчётных конструкторских работ с применением ЭВМ, ведь мы были в составе огромного завода и «фантазиями и прожектками» не занимались. В общем, мы не были архитекторами будущей компьютерной системы и никакого проекта не разрабатывалось.

Главная цель начала работ по применению ЭВМ при проектировании заключалась в повышении качества проектных решений, как в области применяемых технологий, так и в реализующих их конструкциях, так как ЭВМ позволяет применять в расчётных методиках (математических моделях) современные и более сложные аналитические и численные методы (нереализуемых при ручных расчётах), обеспечивающие повышенную точность, достоверность и информативность расчётов, а значит – и собственно качество проектируемого оборудования. При этом использование ЭВМ позволяет минимизировать объём расчётных работ, выполняемых вручную, а в дальнейшем полностью их исключить.

Так объективно сложилось, что дальнейшее наше освоение ЭВМ и программирования было вызвано также необходимостью выполнения абсолютно новых для нас экспериментальных научно-исследовательских работ, связанных с освоением и совершенствованием

систем автоматизации спроектированного и изготовленного Уралмашзаводом самого высокопроизводительного в мире блюминга 1300 завода «Криворожсталь» и, особенно, с созданием систем с Управляющими вычислительными машинами (УВМ). Но в преддверии начала этих практических работ (1964 г.) по-счастливо близко познакомиться с современными математическими основами теории оптимального управления.

В начале 1960-х гг. появилась возможность ознакомиться с рядом монографий отечественных и зарубежных математиков (акад. Л.С.Понтрягин, открывший в 1956 г. всемирно известный «принцип максимума», и американский математик Dr. R. Bellman, опубликовавший в 1957 г. свои работы по методу «динамического программирования», посвящённых математической теории оптимальных процессов. В это же время в г. Москве прошёл международный математический конгресс (где присутствовал Dr. R. Bellman), отдельная секция которого была посвящена математическим проблемам оптимизации систем.

Исследования по теории оптимального управления, естественно, были инициированы и, в первую очередь, отвечали интересам разработчиков ракетно-космических комплексов и атомной энергетики. Эти работы становятся весьма «модными» и достаточно часто начали появляться публикации по решению прикладных инженерных задач (но, главным образом, экономических) с использованием различных методов оптимизации (в основном – линейного программирования) и даже появились научно-популярные издания, например, брошюры проф. Е.С.Вентцель.

Автор статьи по отношению к этим методам также не безгрешен. Началу наших работ по оптимизации способствовали знакомство (а в дальнейшем и сотрудничество) и влияние учёного В.А.Святославского (в тот период – заведующего отделом ВНИИЭлектропривод, г. Москва), под руководством которого проводились совместные работы по созданию алгоритмов систем управления механизмами блюминга с помощью УВМ.

Совместно с математиком – программистом Ю.Д.Макаровым были теоретически решены и на ЭВМ получены численные результаты ряда задач, связанных с оптимизацией режимов управления электроприводами прокатного оборудования. Например, на основе принципа максимума были решены задачи по поиску оптимальных по быстродействию¹ переходных процессов и режимов управления в безынерционном электроприводе постоянно-

¹ Принимаемые критерии оптимальности в этих и последующих задачах – максимальное быстродействие или минимальный (заданный) нагрев двигателя соответствовали принятой в то время главной цели экономической политики – максимальной производительность любых технологических процессов, машин и агрегатов

го тока при постоянном или переменном моменте статических сопротивлений, а также в инерционной электромеханической системе с учётом упругости, и ряд других практических задач важных для проектирования и эксплуатации [1].

Эти решения частных задач оптимального управления затем вошли составным элементом в последующие решения крупных проблем по оптимизации технологических параметров и режимов управления на реверсивных и непрерывных станах горячей прокатки сортовых и листовых заготовок [1]. Вообще, поиск оптимальных решений (т.е. применение современных строгих математических методов) – это естественная инженерная черта, получил отражение почти на всех последующих пакетах компьютерных программ (КП).

С 1962 г. начались (совместно с ВНИИ-Электроприводом) теоретические и экспериментальные работы, направленные на создание технологических основ алгоритмов управления, применительно к первой в отечественной металлургии системе комплексной автоматизации самого высокопроизводительного в мире блюминга 1300, в том числе, и для системы с УВМ «ВНИИЭМ-3».

Разработка систем автоматического управления и, особенно, создание впервые в отечественной металлургии системы с УВМ, выдвинули ряд новых, сложнейших в математическом отношении научных и серьёзных технических задач, абсолютно несвойственных инженерным и конструкторским кадрам существующей на Уралмашзаводе системы проектирования прокатного оборудования. Но поскольку задачи касались технологий и их реализующего оборудования, изготовляемого Уралмашзаводом, мы «ничтоже сумняшеся» (ибо были не в состоянии адекватно оценить всю глубину трудностей и сложностей стоящих задач) смело приступили к их решению. Руководством была одобрена эта инициатива.

После пуска блюминга в эксплуатацию (октябрь 1964 г.) первая задача, поставленная перед ИТР, состояла в том, чтобы параллельно проведению экспериментальных работ связанных с автоматизацией, всеми научными методами способствовать скорейшему достижению проектной производительности. То есть вышеуказанные задачи и многие другие требовали полной и достоверной информации в реальном масштабе времени.

Была предложена структурная схема информационной системы на основе двух УВМ «ВНИИЭМ-3» – средства получения представительных массивов точной и надёжной научной информации, требуемой для построения математической модели объекта автоматизации и разработки алгоритмов управления. Такая система была спроектирована организациями – участниками проекта, была смонтирована (1966г.) и являлась первой в отечественной металлургии информационной системой на основе вычислительной техники [2].

Первооснову математического обеспечения информационной системы образовали комплексы программ автоматизированного сбора, предварительной обработки и накопления информации и программ по математической статистике на уровне теории случайных величин и случайных процессов. Разработка алгоритмов и программ (совместно с ВЦ Уралмашзавода, применительно в ЭВМ «Урал-4») по математической статистике была закончена в 1968 г. в объёме следующих программ: статистического анализа; одно- и двухфакторного дисперсионного анализа; двумерного и многомерного линейного и криволинейного (на основе метода Д.В. Вранон) регрессионного анализа, а также выбора шага квантования по времени, вычисления корреляционной функции и спектральной плотности мощности и других параметров марковских стационарных эргодических случайных процессов [3].

Созданный комплекс алгоритмов и программ был *вторым* пакетом программ по математической статистике, созданным в Советском Союзе, тогда как *первый* пакет был впервые разработан в Ленинградском институте Арктики и Антарктики (ЛИАА НИИ) [3]. Комплекс этих программ в течение почти 30-ти лет последовательно переводился в ВЦ Уралмашзавода на системы команд ЭВМ: Минск-2, Минск-22, ЕС – 1020 (и 1060) и, наконец, на персональный компьютер «ЭВМ», что дополнительно подтверждает корректность математических постановок, высокую устойчивость, надёжность, работоспособность и широкие прикладные возможности созданных алгоритмов.

Программы по статистике и другие статистические методы [1] применялись для обработки и анализа экспериментальной информации при решении многообразных задач автоматизации, при исследованиях процесса прокатки на блюминге 1300, механо- и электрооборудования и систем их регулирования, при создании ряда автоматических систем программного управления динамически нагруженными механизмами (первые прообразы *мехатроники*).

Пожалуй, впервые в прокатном производстве, да и в отечественной металлургии, так широко и разносторонне были применены статистические методы. Созданные программы в течение трёх десятилетий (до появления зарубежных разработок) были популярны и во всех научных и конструкторских подразделениях Уралмашзавода и широко применялись при проведении многочисленных экспериментальных работ, для создания методик расчёта процессов и машин и даже для решения ряда серьёзных производственных проблем.

Обширными комплексными статистическими исследованиями математически строго было доказано [2], что процесс прокатки на блюминге является нестационарным, стохастическим, многофакторным процессом, деформационные, энергосиловые, скоростные,

временные и динамические параметры которого представляют собой случайные величины, имеющие собственные, часто «ненормальные» функции распределения.

С позиции автоматизации, этот процесс обладает свойством дискретности, является нестабильным (даже на высоком уровне производительности), с ограниченной наблюдаемостью, т.е. функционирует в условиях неполной информации, при этом влияние случайных возмущений на процесс прокатки существенно. Все выше отмеченные особенности были максимально возможно учтены при формировании математической модели, содержащей совокупность статистически достоверных уравнений регрессии с оценками точности и надёжности, для построения которой и максимизации целевых функций были применены принципы системного анализа и строгие методы математической теории оптимальных процессов.

На основе созданной модели был разработан пакет компьютерных программ (КП) для оптимальных распределений обжатий по пропускам (выбор схем и режимов прокатки) методом динамического программирования Р. Беллмана и максимальных скоростей (или ускорений), а также для обоснования параметров оборудования и приводов, который на протяжении более трёх десятилетий систематически применялся в расчётной практике при проектировании новых и реконструкции действующих реверсивных и непрерывных станов горячей прокатки.

Выполненные научные работы по оптимизации технологии прокатки обосновали целесообразность проведения некоторого совершенствования оборудования, реализация которого способствовало надёжному достижению высокой проектной производительности блюминга, а автоматическим системам, на уровне жёсткого программного управления, при высоком уровне организации производства, реально обеспечить годовую производительность в объёме 5,5...5,7 млн.т. по всаду.

Созданный пакет КП по оптимизации технологии и оборудования был успешно применён при разработке эффективного проекта «комплекса унифицированного механо – и электрооборудования участка рабочей клетки обжимных станов реализация которого обеспечило значительное сокращение сроков проектных работ, снижение себестоимости изготовления, а также сформировало резерв повышения производительности обжимных станов.

В связи с автоматизацией блюминга было также создано несколько сопутствующих КП по расчёту и оптимизации кольцевых схем транспортировки заготовок и проката, по оптимизации рычажных механизмов, ведомое (исполнительное) звено которых должно воспроизводить требуемую форму траектории или обладать определённой линейной скоростью при заданном перемещении и ряд других разработок, направленных на повышение ка-

чества и культуры проектирования и эксплуатации.

Итак, работы по автоматизации блюминга 1300 заложили первый и весьма солидный «краеугольный камень» в фундамент будущей САПР, и явились успешным началом по формированию этой системы.

Одна из важнейших, но сложных задач стоящих перед любым конструктором заключается в обеспечении прочности деталей и надёжности проектируемой машины. И, несомненно, в этом направлении применение ЭВМ и современных численных математических методов, обеспечивающих дифференциальную картину напряжённости в любых сечениях детали и их точках, является актуальной и весьма прагматичной задачей.

С целью повышения статической несущей способности тяжело нагруженных деталей и их конструкций сложных конфигураций и их термостойкости, при работе в условиях интенсивных, нестационарных тепловых воздействий, их оптимизации и построения параметрических рядов и, в конечном итоге, для повышения надёжности проектируемого оборудования, нами в середине 1970-х гг. совместно с Пермским политехническим институтом, были разработаны математические постановки и пакеты КП для решения на ЭВМ краевых задач теории упругости в перемещениях, в плоской и объёмной постановках, методом конечных элементов (МКЭ) для исследований напряжённно-деформированных (НДС) и термоупругих состояний (ТУС) областей сложных геометрических форм. Следует отметить, что первые КП, реализующие МКЭ, появились, если довериться Интернету, в середине 1970-х гг. в США (разработки NASA).

Работоспособность, достоверность и эффективность КП доказана на тестовых примерах и сравнением результатов расчётов с экспериментальными исследованиями, а также более двухдесятилетним периодом выполнения многочисленных расчётов при проектировании прокатного, горного, бурового и другого металлургического оборудования [1]. Все пакеты программ переданы и зарегистрированы в ГОСФАП СССР [1].

Кроме того, для оформления результатов исследований НДС и ТУС (в том числе и статистических) было разработано программное обеспечение, позволяющее выполнять на графопостроителе «BENSON-2320» ВЦ Уралмашзавода различные виды рисунков, на которых показываются напряжённное и деформированное или термоупругое состояния и температурные поля всей конструкции или её фрагмента, а также построенная сетка КЭ и система граничных условий.

Созданные программы были успешно применены для исследования на ЭВМ НДС станин закрытого типа (также с целью анализа и обобщения опыта предшествующих поколений конструкторов в проектировании сложных фундаментных деталей) станов горячей и

холодной прокатки (в том числе с учётом концентраторов напряжений), универсальных шарниров с вкладышами скольжения, тяг различных конструктивных исполнений и многих других несущих деталей и сложных конструкций [1].

На основе результатов исследований НДС созданы унифицированные конструкции станин и построены параметрические ряды тяг и универсальных шарниров, впервые содержащие оценки нагрузочной способности каждого типоразмера, а для последних разработаны и утверждён новый ГОСТ 8059–83.

Применение процедуры планирования численных экспериментов на ЭВМ (представляя модель детали в формате МКЭ) и многофакторного статистического анализа позволило получить эффективные для проектирования уравнения множественной регрессии с оценками точности и надёжности для зависимостей максимальных величин эквивалентных напряжений и перемещений (оптимизируемые параметры) как функции конструктивных параметров детали. Такие уравнения получены для станин заготовочных и листовых станов горячей и холодной прокатки, универсальных шарниров и тяг.

Были выполнены компьютерные исследования ТУС термонагруженных сложных конструкций прокатных цехов: слитковозов, линеек манипулятора, суппортов ножниц и ряда других деталей, на основе результатов которых созданы новые конструкции, успешно работающие в настоящее время [1].

Новые конструкторские решения для многих ответственных несущих деталей были разработаны благодаря многолетнему тесному творческому контакту с конструкторами Уралмашзавода. Высокая информативность результатов проявилась в исследованиях НДС деталей и конструкций четырёхвалковых листовых прокатных станов. Были исследованы НДС валковых систем станов «кварто» (с оценкой концентраторов напряжений в области галтелей рабочих и опорных валков), результаты которых позволили выполнить сравнение эффективности различных систем противозгиба.

Следующая достаточно интересная и сложная разработка оставила неприятные ощущения и воспоминания, вследствие ограниченности необходимой исходной экспериментальной информации, что в дальнейшем, при обсуждении результатов, вызвало много нервных, но безрезультатных споров. С целью получения оценок достоверности расчётов поперечной разнотолщинности и диапазона её изменения было проведено исследование взаимодействия рабочего и опорного валка с учётом сил трения скольжения рабочего валка вдоль образующей опорного. Отличительная особенность и новизна математической постановки задачи заключалась в применении МКЭ к решению контактной задачи теории упругости для тел сложной формы [1]. В результате

было доказано, что учёт сил трения даёт более достоверную величину разнотолщинности. А в дальнейшем появилась публикация, экспериментально подтвердившая наличие сил трения скольжения между рабочим и опорным валками в направлении их продольной оси применительно к станам горячей прокатки.

На основе созданных пакетов КП выполнено много других практических исследований с неизменным получением новых эффективных конструкторских и технологических решений [1].

Следует особо обратить внимание на следующий немаловажный и радующий факт: несмотря на то, что большинство типовых деталей оборудования прокатных станов проектировались на протяжении нескольких столетий отечественными и зарубежными конструкторами и, казалось бы, должны иметь оптимальные конструктивные параметры, применение современного математического аппарата – численных методов и ЭВМ, выявило ряд новых важных особенностей, реализация которых позволила достичь высокого уровня совершенства конструкций, в том числе и эстетического. И многолетняя практика применения созданных пакетов прикладных КП для проектирования широкой гаммы разнообразных деталей и конструкций сложных конфигураций действительно убедительно доказала реальность достижения прекрасного – красоты компьютерных конструкторских решений [1].

На основе решения ряда теоретических задач по оптимизации и опыта совершенствования режимов работы электроприводов механизмов блюминга 1300, в конце 1970-х гг., используя методы идентификации и регистрацию параметров электропривода (как исходной информации), впервые были созданы² КП для определения величины постоянной времени привода, махового и статического моментов (постоянных и переменных) для любых машин и механизмов прокатного оборудования и сформировалась математическая постановка для определения суммарного зазора (люфта) в механических системах и в зубчатых передачах. Эти разработки имеют большое значение для качественной наладки и совершенствования режимов функционирования электроприводов и динамики (т.е. срока службы) механооборудования.

В начале 1980-х гг., в связи с проведением теоретических и экспериментальных исследований процесса правки рельсов², с целью повышения качества технологии и конструкций правильных машин, совместно с Пермским политехническим институтом была создана современная научная методология исследования и оптимизации НДС профиля при прав-

² Между прочим, при проведении экспериментальных исследований процесса правки рельсов в производственных условиях НТМК впервые была применена телеметрическая система передачи сигналов, с установленными на движущихся рельсах тензодатчиков, на регистрирующую аппаратуру (В.И.Паутов, УПИ).

ке, основанная на решении МКЭ объёмной стационарной изотермической задачи упруго-пластичности, и разработана КП для расчёта дифференциальных и интегральных параметров процесса знакопеременного изгиба рельсов и других фасонных профилей.

Программа позволяет вычислить компоненты векторов перемещений, тензоров напряжений и деформаций и их распределение в любой точке подвергаемого правке профиля; распределение остаточных напряжений и величины конечной кривизны и многие другие параметры.

С помощью КП выполнены численные и параметрические исследования некоторых аспектов применяемых на НТМК технологий правки, в результате которых обоснован ряд технологических и конструктивных рекомендаций, в частности, предложен оптимальный режим правки термоупрочнённого рельса, уменьшающий конечную кривизну примерно в 25 раз и показана целесообразность автоматизации правильного комплекса – микропроцессорной программной системы.

В середине 1980-х гг., в связи с разработкой малоотходных и менее энергоёмких технологий производства заготовок и фасонных профилей, совмещаемых с машинами не прерывного литья, и реализуемых при реконструкции обжимно-заготовочных комплексов, созданы две очень информативные КП для исследований НДС обода железнодорожного колеса в процессе его осадки и НДС непрерывнолитого сляба при его прессовании в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Результаты применения этих программ способствовали более точному обоснованию технологических параметров и выбору конструктивных параметров оборудования.

Но не все работы были успешными. Были и неудачи. Например, была попытка построить комплекс КП для поиска оптимальных структур (кинематических схем) рычажных, а может быть и любых механизмов, базируясь на методах идентификации, при внешней нагрузке, задаваемой в форме статистических оценок по величине и времени (в частности, корреляционной функции).

Но попытка создать (1970-е гг.) программу для решения соответствующего интегрального уравнения с заданной точностью не «увенчалась успехом». Видимо, возможная причина заключалась в весьма ограниченных технических возможностях применяемой в то время ЭВМ «Минск-22». В этой научной работе и в ряде других, сугубо прикладных научных исследований, плодотворно контактировали с Уральским госуниверситетом с Уральским политехническим институтом (УПИ) (создан комплекс программ для расчётов плотности вероятности случайной долговечности, вероятности разрушения и ресурса деталей [1]).

Итак, вся совокупность выше приведённых компьютерных программ и многие другие компоненты [1], созданные в 70-е гг. прошед-

шего столетия, главным принципом разработки которых всегда были: корректная физическая и математическая постановка задачи и строгие математические методы реализации её решения на ЭВМ, являются представительным комплексом современных средств качественного проектирования технологий и оборудования прокатных станов и могли бы вполне сформировать надёжную основу эффективной САПР.

Следует особо отметить, что большинство работ и достижений по созданию САПР и внедрению их результатов в конструкторскую практику, с разработкой новых, более надёжных несущих деталей и сложных конструкций, выполнены благодаря тесному сотрудничеству с учеными вузов и академических институтов.

Автор выражает искреннюю признательность и сердечную благодарность разработчику алгоритмов и программ – инженеру - математику В.Я. Гольденбергу; конструкторам С.Н. Красносельскому, Ю.К. Панкратову, А.К. Филатову, Н.К. Корякину, Ю.П. Чистякову, А.И. Госькову, А.В. Гладкову, А.Н. Сулимову и многим другим коллегам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поляков, Б.Н. Повышение качества технологий, несущей способности конструкций, долговечности оборудования и эффективности автоматических систем прокатных станов. – СПб.: «Реноме», 2006. 528 с.
2. Статистический анализ и математическое моделирование блюминга / С.Л. Коцарь, Б.Н. Поляков, Ю.Д. Макаров, В.А. Чичигин. М.: Металлургия, 1974. 280 с.
3. Поляков, Б.Н. Статистические методы в алгоритмах и примерах (из практики прокатного производства): учеб. пособ. – СПб.: «Реноме», 2007. 182 с.

REFERENCES

1. Polyakov, B.N. *Quality Increase in Technologies, Structure Load-carrying Capacity, Equipment Life and Efficiency of Rolling Mill Automated Systems*. – S-Pb.: “Renome”, 2006. pp. 528.
2. *Statistical Analysis and Blooming Mill Mathematical Modeling* / S.L. Kotsar, B.N. Polyakov, Yu.D. Makarov, V.A. Chichigin. M.: Metallurgy, 1974. pp. 280.
3. Polyakov, B.N. *Statistical Methods in Algorithms and Examples (from practice of rolling-mill production): manual* – S-Pb.: “Renome”, 2007. pp. 182.

Рецензент д.т.н. В.А. Демин

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ ЗА 2017 г.

Технологии наукоёмких материалов и нанотехнологии

- Ворначева И.В., Гадалов В.Н., Макарова И.А., Филонович А.В. Внутреннее трение литого сплава с никель-хромовой матрицей после термической обработки..... № 10(76)-2017 г.
- Кочешков И.В. Имитационное моделирование структуры волокнистого композитного материала, получаемого с использованием разных типов листовых полуфабрикатов..... №1(67)-2017 г.
- Куликов И.В., Крылова Т.С., Черных М.Я., Черных И.А., Занавескин М.Л. Ступенчатый подъем температуры в процессе формирования сплошных эпитаксиальных пленок сверхпроводников YBa₂Cu₃O_{7-x} для повышения токонесущей способности ВТСП лент второго поколения..... №11(76)-2017 г.
- Левшин Г.Е. О движении расплава в индукторной тигельной печи..... №4(70)-2017 г.
- Макаров С.С., Дементьев В.Б. Численное моделирование теплообмена при охлаждении высокотемпературной металлической заготовки из стали 30ХГСН2А..... № 9(75)-2017 г.
- Монсеев А.А. Критериальная модель химической стабильности в статических условиях..... № 10(76)-2017 г.

Наукоёмкие технологии в заготовительном производстве

- Демин В.А. Проектирование инновационных технологий в обработке металлов давлением..... №8(74)-2017 г.
- Кузьмин С.В., Лысак В.И., Кузьмин Е.В. Применение ультразвука при сварке взрывом..... №7(73)-2017 г.
- Макаров С.С., Чекмышев К.Э. Экспериментальное исследование охлаждения высокотемпературной металлической заготовки из стали 40Х..... №12(78)-2017 г.
- Овчинников В.В. Технология сварки алюминиевого деформируемого сплава 1151..... №1(67)-2017 г.
- Овчинников В.В., Андреева Л.П., Любимова Т.Д. Оксидные включения в швах алюминиевых сплавов, полученных методом сварки трением с перемешиванием..... №6(72)-2017 г.
- Поветкин В.В., Букаева А.З., Хандожко А.В. Использование бензовоздушных горелок для добычи и обработки блочного камня..... №12(78) - 2017 г.
- Рахмьянов Х.М., Рахмьянов А.Х. Влияние кинематической вязкости расплава материалов на качество обработки при тонкоструйной плазменной резке биметаллических композиций..... №5(71)-2017 г.

Наукоёмкие технологии механической обработки заготовок

- Безъязычный В.Ф., Басков М.В. Расчётное определение степени влияния покрытий режущего инструмента на параметры качества поверхностного слоя обрабатываемых деталей..... №7(73)-2017 г.
- Блюменштейн В.Ю. Механика технологического наследования как научная основа проектирования сложнопрофильных инструментов для упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием..... №8(74)-2017 г.
- Братан С.М., Богущий В.Б., Новоселов Ю.К., Роцупкин С.И. Моделирование процесса стохастического взаимодействия инструмента и заготовки на операциях шлифования..... №5(71)-2017 г.
- Городец И.А., Михайлов А.Н., Голубов Н.В. Повышение качества шлифования заготовок из камня..... №5(71)-2017 г.
- Денисенко А.Ф. Динамические характеристики токарного станка среднего типоразмера, установленного на резинотехнических виброизолирующих опорах..... №5(71)-2017 г.
- Зеровщиков А.Е., Артемов И.И., Самохин Н.В. Научный подход к обеспечению точности державок токарного инструмента со сменными неперетачиваемыми пластинами..... №4(70)-2017 г.
- Карпачев А.Ю. Наукоёмкая технология вальцевания пыльных дисков сферическими роликами..... №1(67)-2017 г.
- Клепиков В.В., Черепанин А.А. Особенности облегчающего шевингования цилиндрических зубчатых колес..... №6(72)-2017 г.
- Мелентьев В.В., Маслеников Е.И., Порошин К.Г., Шибанов О.В. Наукоёмкий датчик для вибродиагностики на базе технологии МЭМС и RFID..... №6(72)-2017 г.