

2. **Исследование** процессов формирования крупногабаритных центробежно литых отливок / Н.И.Тарасевич, Л.П.Шелковникова, И.В.Корниец. — Киев, 1988. — 43 с.
3. **Шевченко А.И.** Центробежное литье под флюсом. АН Украины. Ин-т проблем литья. — Киев: Наук. думка, 1991. — 192 с.
4. **Специальные** способы литья: Справочник / Под общ. ред. В.А.Ефимова. — М.: Машиностроение, 1991. — 436 с.
5. **Свободноконвективные** течения, тепло- и массообмен // Б.Гебхард, И.Джалурия, Р.Л.Махаджан, Б.Саммакия. — М.: Мир, 1991. — кн. 1. — 528 с.
6. **Волохонский Л.А., Медведовская Л.А.** Гидродинамические процессы в жидкометаллической ванне в условиях естественной и вынужденной конвекции // Математические методы в исследовании процессов специальной электрометаллургии. — Киев: Наук. думка, 1976. — С. 123–129.
7. **Математическое** моделирование процессов переноса в слитках и отливках с учетом внешних воздействий / А.П.Огурцов, Ф.В.Недопекин, В.В.Белоусов — Днепродзержинск: Изд-во Днепродзержинского ГТУ, 1997. — 199 с.
8. **Гридин С.В., Белоусов В.В., Недопекин Ф.В., и др.** Компьютерное моделирование процесса формирования биметаллической центробежнолитой заготовки // Тр. науч. конф. проф.-преп. состава по итогам научно-исследовательской и методической работы: физика, математика. — Донецк: ДонГУ, 1995. — С. 43–44.
9. **Недопекин Ф.В., Белоусов В.В., Гридин С.В.** Численное исследование процесса формирования биметаллической центробежнолитой заготовки // Тр. VII Украинской конф. «Моделирование и исследование устойчивости систем». — Киев, 1996. — С. 105.
10. **Недопекин Ф.В., Белоусов В.В., Гридин С.В.** Анализ напряженнодеформированного состояния слитков с помощью экспертной системы «Дефект» // Изв. ВУЗов. Черная металлургия, 1995. — № 7. — С. 57–59.
11. **Гридин С.В.** Расчет термонапряженного состояния центробежнолитой заготовки // Тр. науч. конф. проф.-преп. состава по итогам научно-исследовательской и методической работы: физика, математика. — Донецк: ДонГУ, 1995. — С. 41–42.
12. **Борисов В.Т.** Теория двухфазной зоны металлического слитка. — М.: Металлургия, 1987. — 232 с.

©Гридин С.В., Белоусов В.В., 2002

СТАЛИНСКИЙ Д.В. (УКРГНТЦ «ЭНЕРГОСТАЛЬ»)

## КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБДИРОЧНОГО ШЛИФОВАНИЯ В МЕТАЛЛУРГИИ САПР-ТПОШ(К)

*Приведены выработанные определения основных понятий теории САПР применительно к проектированию технологии обдирочного шлифования, описана разработанная технологическая САПР, базирующаяся на теоретических и экспериментальных исследованиях в области абразивной зачистки металлопродукции.*

Разработка оптимизированной технологии обдирочного шлифования (абразивной зачистки) металлопродукции, одной из основных и наиболее распространенных отделочных операций на металлургических предприятиях, как проектная процедура, базируется на теоретических и прикладных основах данного вида механической обработки металла, детально рассмотренных в монографии [1]. Наиболее эффективным путем объединения разработанных подходов в единую методологию является построение комплексной и локальных систем автоматизированного проектирования (САПР) технологических процессов обдирочного шлифования.

Настоящая работа посвящена описанию разработанной комплексной системы.

Ввиду принципиальных различий как самих технологических процессов обдирочного шлифования и иных видов механической обработки металла, включая чисто-

вое шлифование, так и задач, решаемых при обработке, непосредственное применение известных САПР и подходов к их построению является невозможным [1]. Этим обусловлена необходимость адаптирования к проектируемому объекту — технологии обдирочного шлифования — основных понятий и определений, являющихся общепринятыми при построении САПР. В качестве базы использованы определения, приведенные в фундаментальной монографии [2].

**Проектным решением** принято считать промежуточное или конечное описание объекта проектирования, необходимое и достаточное для определения путей дальнейшего проектирования или его окончания. В нашем случае конечным описанием объекта проектирования является комплексная технологическая инструкция по зачистке металлопродукции, регламентирующая, наряду с общими положениями, режимы шлифования, оптимизированные по показателям эффективности и качества, нормы выработки, применяемый абразивный инструмент. Промежуточными описаниями проектируемого объекта, при этом, являются технологические режимы (в виде номограмм и т.п.), оптимизированные по показателям эффективности, в одном варианте, по показателям качества — в другом и иные решения, сведенные в локальные САПР, которые, равно как и настоящая комплексная система, более детально описаны в монографии [1].

Таким образом, применительно к САПР-ТПОШ, проектным решением является комплексная технологическая инструкция, содержащая оптимальные режимы шлифования.

Комплексная технологическая инструкция по зачистке металлопродукции либо (в частных вариантах) инструкции, номограммы и иные технологические документы, содержащие режимы шлифования, оптимизированные по отдельным критериям, являются также результатом проектирования, которое в канонической трактовке формулируется как проектное решение (или их совокупность), достаточное для создания объекта проектирования.

**Проектной процедурой**, трактуемой как формализованная совокупность действий, выполнение которых оканчивается проектным решением, в нашем случае являются алгоритмы комплексной и локальных САПР-ТПОШ, позволяющие получить комплексную технологическую инструкцию либо оптимизированные по отдельным критериям (группе критериев) режимы шлифования.

Важно подчеркнуть, что проектной операцией — действие или формализованная совокупность действий, составляющая часть проектной процедуры, алгоритм которых остается неизменным для ряда проектных процедур — в предложенной нами системе оптимального проектирования является отработанная методика, математическая модель, найденный подход и т.п., относящиеся, например, к расчету температур, статочных напряжений, сил резания, построению расчетных номограмм, словом, все то, из чего складывается в конкретном случае разработка технологического процесса.

В описываемой САПР проектные операции построены исключительно на результатах собственных исследований и разработках автора, прошедших многолетнее промышленное опробование.

Большинство применяемых в разработанной САПР-ТПОШ(К) проектных процедур являются унифицированными, поскольку, в соответствии с канонической трактовкой, **унифицированная проектная процедура** — та, алгоритм которой остается неизменным для различных объектов проектирования или различных стадий проектирования одного и того же объекта. Используемые в САПР-ТПОШ (К) и локальных САПР методики, модели и подходы универсальны как по сортаменту обрабатываемой металлопродукции, так и по видам применяемого оборудования и инструмента.

Важным методическим моментом построения САПР, нашедшим повсеместное распространение при разработке систем, является блочно-иерархический подход [2, 3 и

др.]. Подход базируется на трех концепциях: разбиение и локальная оптимизация, абстрагирование, повторяемость.

**Концепция разбиения** позволяет сложную задачу проектирования объекта свести к решению более простых задач с учетом взаимодействия между ними. Локальная оптимизация, при этом, предполагает улучшение параметров внутри каждой простой задачи.

Говоря о комплексной САПР, применение разбиения и локальной оптимизации очевидно — при построении локальных САПР, в частности.

Более высоким уровнем применения данной концепции является, например, поэтапная оптимизация технологии обдирочного шлифования по показателям эффективности и качества, предусматривающая при комплексном подходе отыскание границ возможной оптимизации (например, диапазона самозатачивания инструмента либо области режимов, соответствующих ограниченной температуре поверхности) и последующую оптимизацию в пределах найденных границ (например, отыскание режимов, обеспечивающих минимальное значение удельной себестоимости обработки).

**Концепция абстрагируемости** заключается в построении формальных математических моделей, отражающих только значимые в данных условиях свойства объекта. Именно абстрагируемость, как фактор отбрасывания второстепенных показателей, использована при определении значимых для качества обработки при обдирочном шлифовании показателей (изменение физических свойств металла в поверхностном слое вместо прижогаобразования и т.д.). Кроме того, все проектные процедуры системы построены на базе применения математических моделей, расчетных методик, формализующих взаимосвязь технологических параметров с выходными показателями процесса. Более детально эти, равно как и иные, теоретические вопросы освещены в монографии [1].

**Концепция повторяемости** заключается в использовании существующего опыта проектирования. Ее применение в разрабатываемой САПР ограничивается ее рамками, поскольку, в силу специфики процессов обдирочного шлифования, заимствование опыта из иных процессов невозможно.

Следует подчеркнуть принципиальное отличие примененного нами блочно-иерархического подхода от канонических вариантов. Согласно устоявшемуся представлению [2, 3], процесс проектирования представляет собой в восходящем варианте — решение задач низших иерархических уровней, а затем — высших, и обратную процедуру в нисходящем варианте.

Не вдаваясь в детализацию логики построения использованных в формируемой САПР моделей, методик и подходов (данный материал детально изложен в работе [1]), где, несомненно, имеются элементы подобного положения, скажем о том, что укрупненно комплексная, равно как и локальные САПР, содержат автономные алгоритмические блоки, каждый из которых решает самостоятельную задачу в общей концепции оптимального проектирования технологии.

В силу интенсивного технического прогресса в области компьютерной техники, универсальности технических средств, используемых разнообразными САПР, обилия литературы по данным вопросам, технические средства, применяемые для реализации разработанных САПР в настоящей работе не рассмотрены.

Остановимся на оригинальных аспектах системы — ее логическом построении и информационном обеспечении.

На рис.1 приведен алгоритм комплексной системы автоматизированного проектирования технологических процессов обдирочного шлифования.

Отметим очевидность использования в данной комплексной САПР, (равно как и в локальных системах), описанных в работе [1], еще одного канонического подхода,

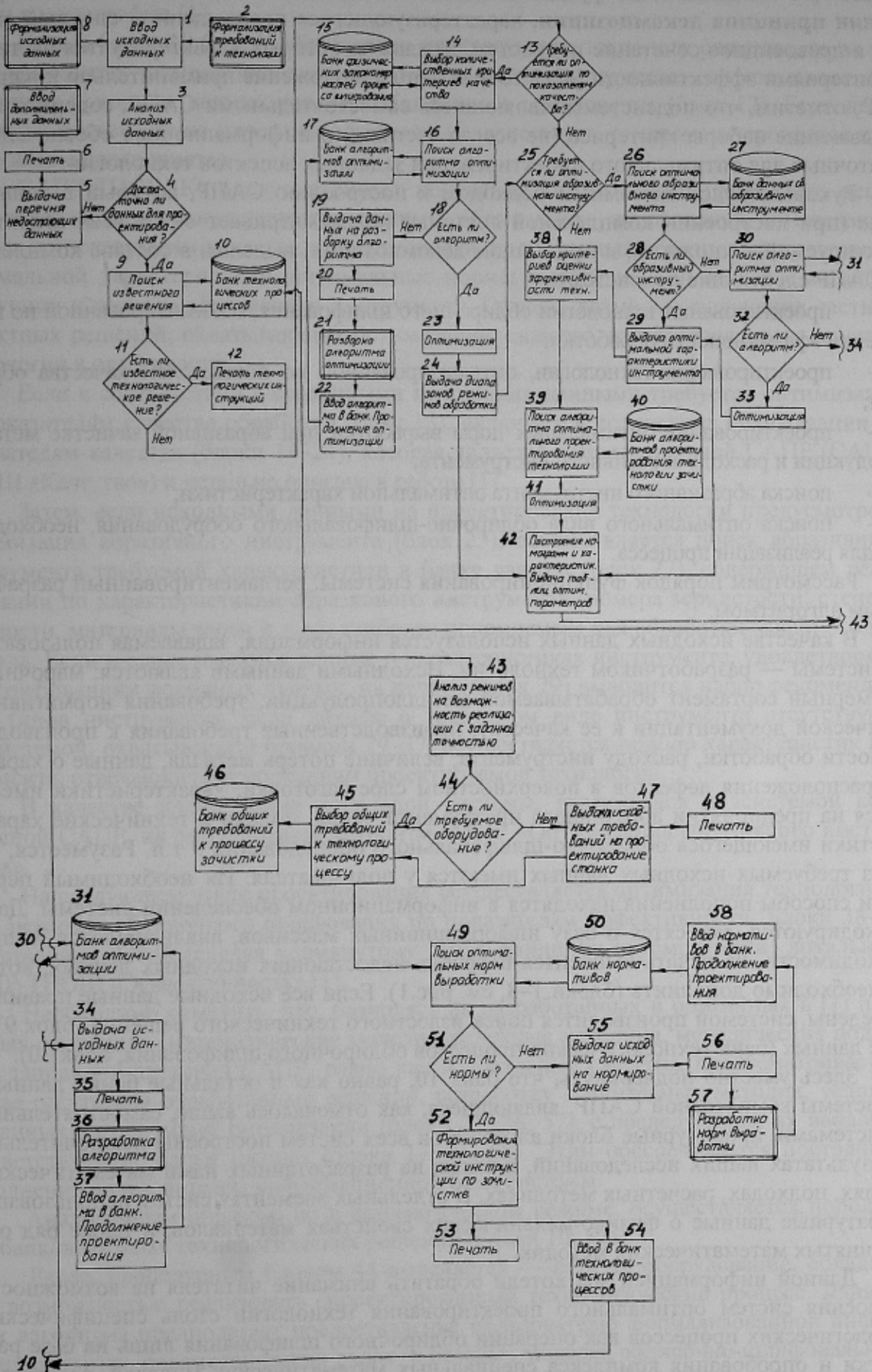


Рис.1. Алгоритм комплексной системы автоматизированного проектирования технологических процессов обдирочного шлифования САПР – ТПОШ (К)

изложенного в большинстве фундаментальных исследований САПР. Речь идет о применении **принципа декомпозиции**, характеризующегося превращением сложной системы в древовидное сочетание подсистем, каждая из которых характеризуется частными критериями эффективности [4]. Уточняя данное положение применительно к нашей САПР, отметим, что подсистемы, являющиеся самостоятельными САПР, содержат исчерпывающие наборы критериев (не всегда частных) и информационное обеспечение, достаточные для оптимального проектирования заданных аспектов технологии.

Руководствуясь системным подходом к построению САПР, который в данном случае (при построении комплексной системы) предусматривает охват всех аспектов проектируемой технологии, и принципом декомпозиции, выделим в составе комплексной САПР следующие подсистемы:

- проектирования технологии обдирочного шлифования, оптимизированной по показателям эффективности обработки;
- проектирования технологии, оптимизированной по показателям качества обработки;
- проектирования оптимальных норм выработки при абразивной зачистке металлопродукции и расхода абразивного инструмента;
- поиска абразивного инструмента оптимальной характеристики;
- поиска оптимального вида обдирочно-шлифовального оборудования, необходимого для реализации процесса.

Рассмотрим порядок функционирования системы, регламентированный разработанным алгоритмом.

В качестве исходных данных используется информация, задаваемая пользователем системы — разработчиком технологии. Исходными данными являются: марочный и размерный сортамент обрабатываемой металлопродукции, требования нормативно-технической документации к ее качеству, производственные требования к производительности обработки, расходу инструмента, величине потерь металла, данные о характере расположения дефектов в поверхностном слое заготовки, характеристики имеющегося на предприятии абразивного инструмента, виды, модели и технические характеристики имеющегося обдирочно-шлифовального оборудования и т.п. Разумеется, не все из требуемых исходных данных имеются у пользователя. Их необходимый перечень и способы пополнения находятся в информационном обеспечении системы. Данные кодируются, заносятся в базу информационных массивов, анализируются и, при необходимости, на печать выносятся перечень недостающих исходных данных, которые необходимо дополнить (блоки 1–8, см. рис.1). Если все исходные данные правильно введены, системой производится поиск известного технического решения (блок 9) в банке данных (банк технологических процессов обдирочного шлифования, блок 10).

Здесь уместно подчеркнуть, что банк 10, равно как и остальные банки данных, подсистемы комплексной САПР, являющиеся, как отмечалось выше, самостоятельными системами, процедурные блоки алгоритмов всех систем построены исключительно на результатах наших исследований, а также на разработанных нами математических моделях, подходах, расчетных методиках. В отдельных элементах систем использованы литературные данные о физико-механических свойствах материалов, а также ряд общепринятых математических методик.

Данной информацией мы хотели обратить внимание читателя на возможность построения систем оптимального проектирования технологии столь специфических технологических процессов как операции обдирочного шлифования лишь на базе разработки и опробования комплекса специальных математических моделей, расчетных методик и подходов, всестороннего исследования теоретических и прикладных аспек-

тов процессов, выявления и анализа закономерностей. Подробно данный материал изложен в монографии [1].

Если в банке 10 (рис.1) обнаружено интересующее технолога решение, то на печать выводится технологическая инструкция, регламентирующая оптимальные для введенных исходных данных режимы обдирочного шлифования (блок 12). Если необходимого пользователю проектного решения не существует, то автоматизированное проектирование продолжается.

САПР-ТПОШ(К) предусматривает получение комплексного проектного решения, содержащего технологические режимы обдирочного шлифования, оптимизированные по показателям качества, эффективности, подобранный абразивный инструмент оптимальной характеристики, оптимальные нормы выработки при зачистке металлопродукции и расхода абразивного инструмента. Однако, возможно получение частных проектных решений, охватывающих оптимизацию каждого, из перечисленных аспектов технологии в отдельности.

Если в соответствии с введенными исходными данными требуется оптимизация по показателям качества обработки (блок 13), включается подсистема оптимизации по показателям качества (блоки 14–24), которая является самостоятельной САПР (САПР-ТПОШ «Качество») и детально описана в работе [1].

Затем, если исходными данными на проектирование технологии предусмотрена оптимизация абразивного инструмента (блок 25), осуществляется поиск абразивного инструмента требуемой характеристики в банке данных (блок 27), содержащем рекомендации по характеристикам абразивного инструмента (номера зернистости, степени твердости, материалы зерен и т.д.), наиболее приемлемым для обработки заданного материала. Если в банке имеются данные о характеристиках инструмента, удовлетворяющих требованиям исходных данных, на печать (блок 29) выводится набор рекомендуемых типов инструмента. Если данные о требуемом виде инструмента отсутствуют, подсистемой, охватываемой блоками 29–37, осуществляется подбор характеристик инструмента, отвечающего требованиям проектируемой технологии.

В качестве иллюстрации локальной системы, являющейся подсистемой комплексной САПР, на рис.2 показан алгоритм САПР «Оптимизация абразивного инструмента».

На следующем этапе проектирования осуществляется оптимизация технологических режимов обдирочного шлифования по показателям эффективности. Блоки 38–42 представляют собой (следуя упомянутому выше принципу декомпозиции) локальную САПР-ТПОШ «Эффективность» [1].

Необходимо отметить, что, базируясь на разработанных и описанных в [1] проектных операциях (математические модели, расчетные методики, методические подходы), данная комплексная САПР, равно как и локальные системы, предусматривает, в случае отсутствия отработанных решений, разработку специальных методик, условно названных алгоритмами оптимизации (блоки 21, 36, 57), с последующим их вводом в соответствующие банки данных (блоки 17, 31, 58). Этим обеспечивается постоянное пополнение пользователем информационной базы системы.

Аналогичным образом, но в автоматическом режиме, осуществляется пополнение банков готовых технологических решений (блоки 10, 50).

Далее, процедурным блоком 44 выясняется — есть ли оборудование, обладающее возможностью реализовать спроектированный технологический процесс. Данный блок алгоритма предполагает предоставление пользователю формализованной информации о гаммах, параметрических рядах и базовых моделях обдирочно-шлифовальных станков, изложенной в разработанном под руководством автора типаже данного вида оборудования [5]. Здесь содержатся, также, данные об обдирочно-шлифовальных агре-

гатах и линиях, разработанных под руководством автора в УкрНИИМете и УкрНИП-КТИ «Металлургмаш» (г.Харьков), спроектированных Одесским СКБ спецстанков, компаниями «SKET» (Германия), «Centro-Murgordshammar» (Швеция) и др.

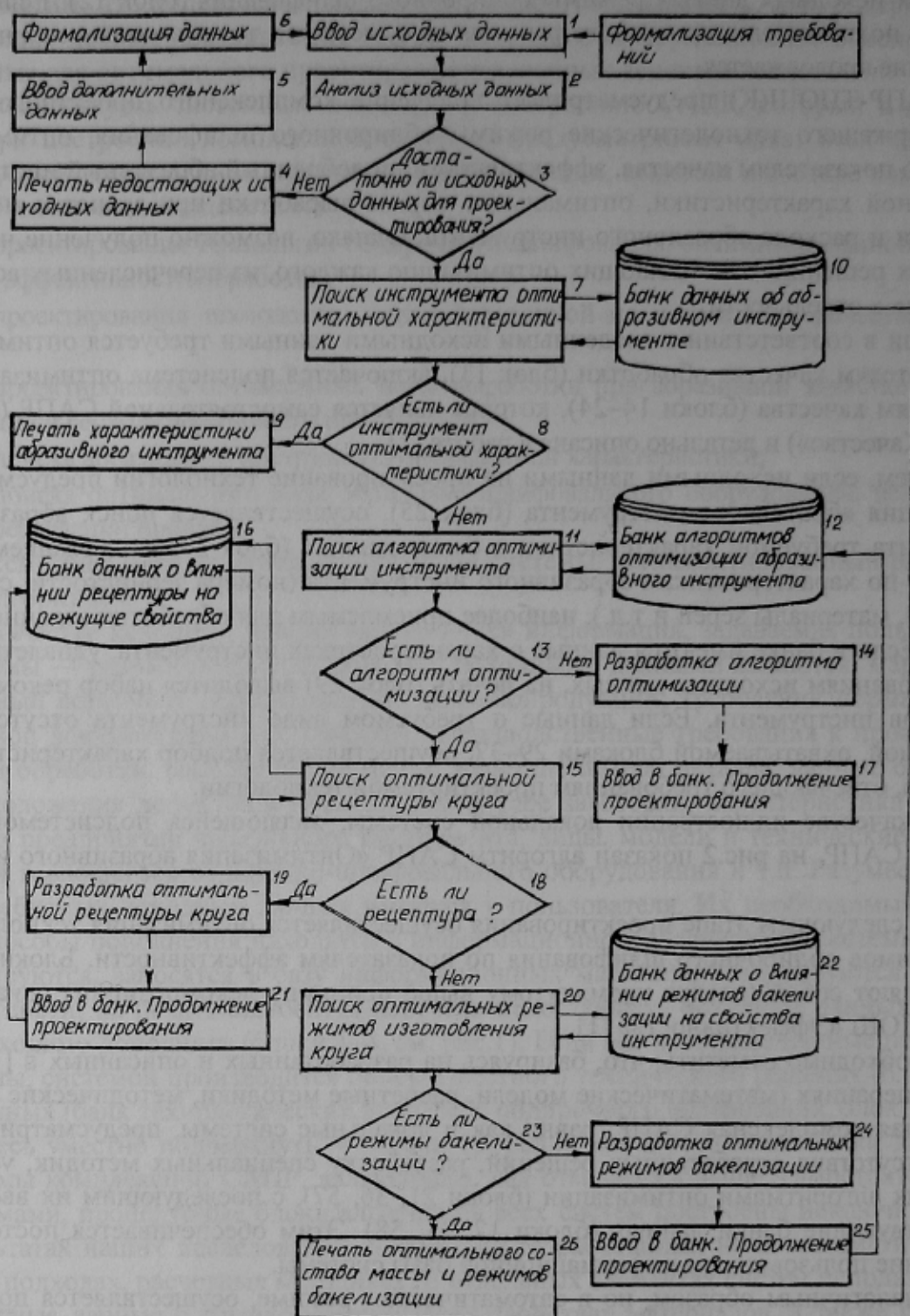


Рис.2. Алгоритм подсистемы «Оптимизация абразивного инструмента» САПР-ТПОШ (К)

Во многих случаях информация о виде оборудования, на котором будет реализован процесс, содержится в исходных данных на проектирование и обусловлена возможностями предприятия, для которого проектируется технология.

Теоретически возможен, но маловероятен случай, когда спроектированная технология не может быть реализована на известном оборудовании. В этом случае блоком 47 предусмотрена выдача исходных требований на проектирование станка. Необходимо подчеркнуть, что данная САПР не ориентирована на оптимальное проектирование новых видов обдирочно-шлифовального оборудования, в отличие, скажем, от системы, приведенной в нашей работе [6]. Описываемая САПР-ТПОШ (К) содержит в блоке 47 параметры технологии, которую должен реализовать будущий станок, если, повторим, он неизвестен.

Затем, блоком 45, с использованием банка данных (блок 46), осуществляется подбор общих требований к технологическому процессу зачистки. Общие требования, являющиеся неотъемлемым атрибутом технологической инструкции по зачистке, содержат положения об испытаниях используемого абразивного инструмента, метрологическое обеспечение технологии, требования техники безопасности, методики тарировки оборудования и корректировки технологических режимов зачистки [1].

Далее, если это предусмотрено исходными данными на проектирование технологии, осуществляется разработка оптимальных норм выработки при зачистке и расхода абразивного инструмента — блоки 49–51, 55–58. Разработка осуществляется подсистемой комплексной САПР, являющейся, аналогично предыдущим подсистемам, самостоятельной САПР-ТПОШ «Нормирование» [1].

Завершает проектную процедуру блок 52, предполагающий формирование технологической инструкции по зачистке интересующего технолога вида металлопродукции. Основным разделом инструкции являются оптимизированные по показателям эффективности и качества технологические режимы обдирочного шлифования, подобранные оптимальные для данного процесса виды оборудования и инструмента, оптимальные нормы выработки при зачистке и расхода абразивного инструмента. Кроме того, приводятся общие требования к технологии, о которых речь шла выше.

Структура комплексной технологической инструкции по зачистке, являющейся для описанной САПР результатом проектирования, приведена в работе [1].

Таковы основные положения комплексной САПР-ТПОШ (К).

В результате анализа специфики технологических процессов обдирочного шлифования выработаны определения основных понятий теории САПР применительно к данному виду механической обработки металла. Разработана комплексная САПР технологических процессов обдирочного шлифования, в основу информационного обеспечения которой положены результаты многолетних собственных исследований и разработок автора.

### Список литературы

1. Сталинский Д.В. Теория и методы проектирования технологии обдирочного шлифования. — Харьков: «Рубикон», 2001. — 230 с.
2. Крячко В.П., Курейчик В.М., Норенков И.П. Теоретические основы САПР. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 100 с.
3. Петренко А.И., Семенов О.И. Основы построения САПР. — Киев: Вища школа, 1984. — 296 с.
4. Норенков И.П. Системы автоматизированного проектирования. Кн. I. Принципы построения и структура. — М.: Высшая школа, 1987. — 123 с.
5. Сталинский Д.В. (руков.разраб.). Типаж обдирочно-шлифовальных станков. — М.: Минмет – Минстанкопром, 1999. — 239 с.
6. Сталинский Д.В., Сизый Ю.А. Оптимальное проектирование динамических систем обдирочно-шлифовальных станков. — Харьков: ХГПУ, 2000. — 113 с.