

**ПЕРСПЕКТИВЫ И РЕАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ УПРОЧНЕНИЯ И НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ  
ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ И  
В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ  
(II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И СИСТЕМНЫЕ АСПЕКТЫ)**

**Г.И. Костюк**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского  
“Харьковский авиационный институт”*

*Украина*

Поступила в редакцию 05.01.2004

На основе реализации новых физических, технических и системных подходов к упрочнению деталей машиностроения и режущего инструмента показана возможность научного выбора эффективной технологии упрочнения и нанесения однослойных и многослойных покрытий, обеспечивающие высокую производительности обработки и получения равнотолщинности покрытий на деталях. Показана возможность существенного повышения качественных характеристик деталей за счет комбинированной обработки.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РИ ДО УПРОЧНЕНИЯ, ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗМЕЩЕНИЯ РИ В УСТАНОВКЕ, РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И ВЫБОРА ВИДА УПРОЧНЕНИЯ ИЛИ ПОКРЫТИЯ**

В этой статье на основе исследования концепций создания автоматизированной интегрированной системы технологического сопровождения упрочняющих технологий, изучения коэффициентов влияния на качественные характеристики технологических параметров, геометрических параметров размещения РИ, физико-механических характеристик РИ до обработки, режимов резания для различных типов упрочнения и покрытия, а также с помощью методики оценки эффективности использования покрытия или комбинированного упрочнения для повышения эксплуатационных свойств режущих инструментов, показана возможность выбора наиболее эффективного вида упрочнения или покрытия, обеспечивающего комплекс наиболее важных потребительских свойств режущего инструмента.

**КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ПРИ УПРОЧНЕНИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

В настоящее время созданы научные системные основы плазменно-ионных, ионно-лучевых, све-

толучевых технологий [5-6,10], которые позволяют, с общенаучных позиций, получить технологические параметры упрочнения и физико-механические характеристики до обработки, обеспечивающие максимальные значения одной из выбранных качественных характеристик РИ (стойкость режущего инструмента, износостойкость, коррозионную стойкость, адгезию, микротвердость, шероховатость, усталостную прочность и др.) и требуемый диапазон остальных. В этих работах даны пути применения этих знаний для оценки параметров комбинированных технологий на их основе, но точность такого подхода не высока и требует ввода экспериментальных коэффициентов. Такой подход не позволяет решить следующие важные вопросы:

- Влияние геометрических параметров размещения деталей в рабочем объеме установки;
- Влияние условий эксплуатации упрочненных деталей и режимов резания на получаемые значения качественных характеристик;
- Расширение круга исследуемых качественных характеристик.

Тогда, исходя из проведенного анализа, концепции создания автоматизированной интегрированной системы технологического сопровождения упрочняющих технологий должны включать (рис. 1):

- Техническое задание (технические условия на эксплуатацию режущего инструмента), которое позволит выявить важные качественные характеристики детали, оценить потребные их значения, а также определить наиболее важную функцию цели (фц);
- Зависимости качественных характеристик комбинированной технологии (КТ) от техноло-

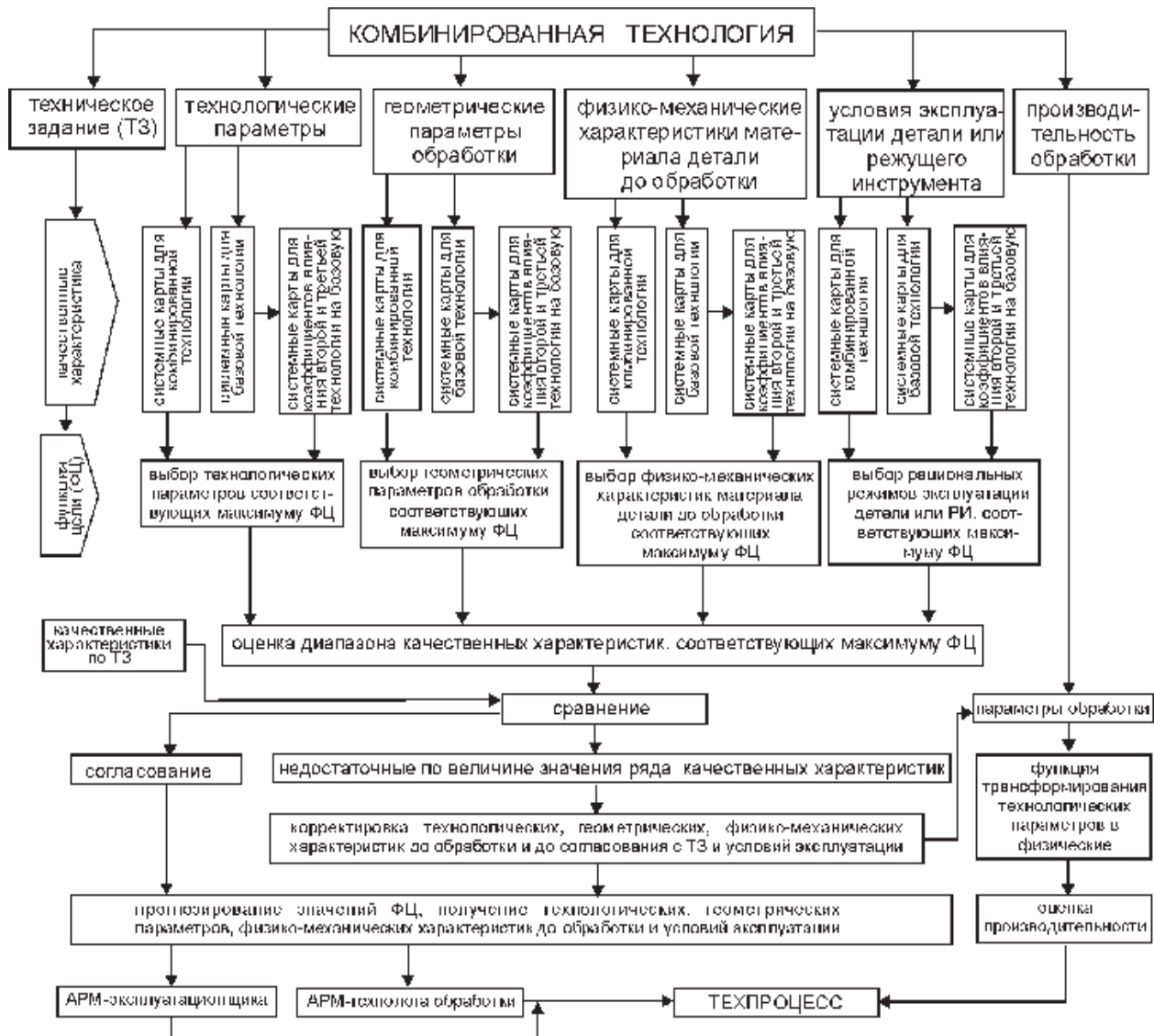


Рис. 1. Схема выбора параметров упрочнения деталей по комбинированной технологии.

гических параметров (системные карты для комбинированной технологии – сккт), если таких нет для комбинированной, то выбирается основная базовая технологии технология (бт), для которой есть системные карты (ск) и используются коэффициенты влияния других технологий на качественные характеристики;

- Зависимости качественных характеристик КТ от физико-механических характеристик материала РИ перед обработкой (СККТ), если таких нет, то выбирается основная БТ, для которой есть СК и используются коэффициенты влияния других технологий на качественные характеристики;

- Зависимости качественных характеристик КТ от геометрических параметров размещения детали в рабочем объеме установки, если таких нет, то выбирается основная БТ, для которой есть СК и используются коэффициенты влияния других технологий на качественные характеристики;

- Зависимости качественных характеристик КТ от режимов резания для РИ, если таких нет, то выбирается основная БТ, для которой есть СК и используются коэффициенты влияния других технологий на качественные характеристики;

- На основе разработанной модели расчета производительности и выбранных технологических параметров обработки, с учетом функции трансформирования технологических параметров в физические (по последним рассчитывается производительность), осуществляется:

- Согласование данных по качественным характеристикам, представленным в ТЗ и получаемым в технологии при условии достижения максимума фц;

- Выбор условий эксплуатации РИ и их корректировка до обеспечения требований ТЗ и режимов резания;

- Создание АРМ технолога комбинированного упрочнения – для выбора технологических параметров комбинированной обработки;

- создание АРМ эксплуатационника РИ, с помощью которого выбираются рациональные режимы эксплуатации и корректируются технологические параметры КТ, что позволяет не только получить режимы комбинированной обработки, обеспечивающие максимальную стойкость РИ, но и выбрать скорость резания, глубину резания, подачу, СОЖ и другие условия обработки;

- разработка технологического процесса комбинированного упрочнения на основе разработанных АРМ комбинированного упрочнения и АРМ эксплуатационника.

Для реализации такого подхода представлены СК зависимостей качественных характеристик для ПИО (рис. 2), ИЛО (рис. 3), ЛО (рис. 4) от технологических параметров.

СК зависимостей качественных характеристик КТ от геометрических параметров размещения РИ в рабочем объеме установки представлены на рис. 5.

СК зависимостей качественных характеристик РИ после КТ от физико-механических характеристик РИ до обработки (рис. 6).

СК зависимостей качественных характеристик РИ после КТ от условий эксплуатации (режимов обработки для РИ) представлены на рис. 7.

К сожалению пока еще недостаточно экспериментального материала для получения СК для коэффициентов влияния технологий на базовую технологию, что пока не дает возможности получить полную картину реализации научно-обоснованной комбинированной технологии.

### **КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЛИЯНИЯ ТИПА УПРОЧНЕНИЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗМЕЩЕНИЯ РИ, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РИ ПЕРЕД ОБРАБОТКОЙ, РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО УПРОЧНЕНИЯ РИ**

В настоящее время для получения полноценных системных карт влияние технологических и геометрических параметров, физико-механических характеристик материала детали и РИ до обработки и условий эксплуатации на качественные характеристики экспериментальных данных в достаточном объеме нет и очевидно более реальным является путь создания АРМ технолога упрочняющих технологий и АРМ эксплуатацион-

ника на основе системных карт для коэффициентов влияния каждой из технологий. Все это обеспечивает автоматизированный выбор рациональных технологических параметров обработки, геометрических параметров размещения РИ в установке обеспечивающих требуемое качество, выбор физико-механических характеристик материала РИ перед упрочнением, выбор режимов резания для упрочненного режущего инструмента [446].

Для этого были построены системные карты для коэффициентов влияния каждого типа покрытия и видов упрочнения на качественные характеристики (стойкость РИ, износостойкость, микротвердость, шероховатость, изгибная прочность, коэффициент трения, адгезия, усталостная прочность, силы резания) в зависимости: от технологических параметров плазменно-ионной обработки (рис. 8), от технологических параметров ионно-лучевой обработки (рис. 9), от технологических параметров лазерного упрочнения (рис. 10), от геометрических параметров размещения деталей и РИ в рабочей зоне установки (рис. 11), от физико-механических характеристик материала РИ перед упрочнением (рис. 12) и от условий эксплуатации и режимов резания для режущих инструментов (рис. 13).

Анализ приведенных системных карт позволяет оценить влияние технологических параметров, геометрических параметров размещения материала РИ в рабочей зоне установки, физико-механических характеристик детали перед упрочнением и режимов резания для режущих инструментов (РИ) на качественные характеристики и дает возможность оценить влияние каждого фактора, результаты которого приведем в дальнейшем.

### **КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЛИЯНИЯ ТИПА УПРОЧНЕНИЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

Проанализируем характер влияния технологических параметров на коэффициенты влияния:

- максимальная величина коэффициента влияния на качественные характеристики определяет возможности технологий, т.е., чем этот коэффициент выше, тем большие возможности повышения данной качественной характеристики за счет технологического параметра;

- диапазон изменения коэффициента влияния качественной характеристики (КХ) говорит о возможности управления этой КХ за счет данного технологического параметра:

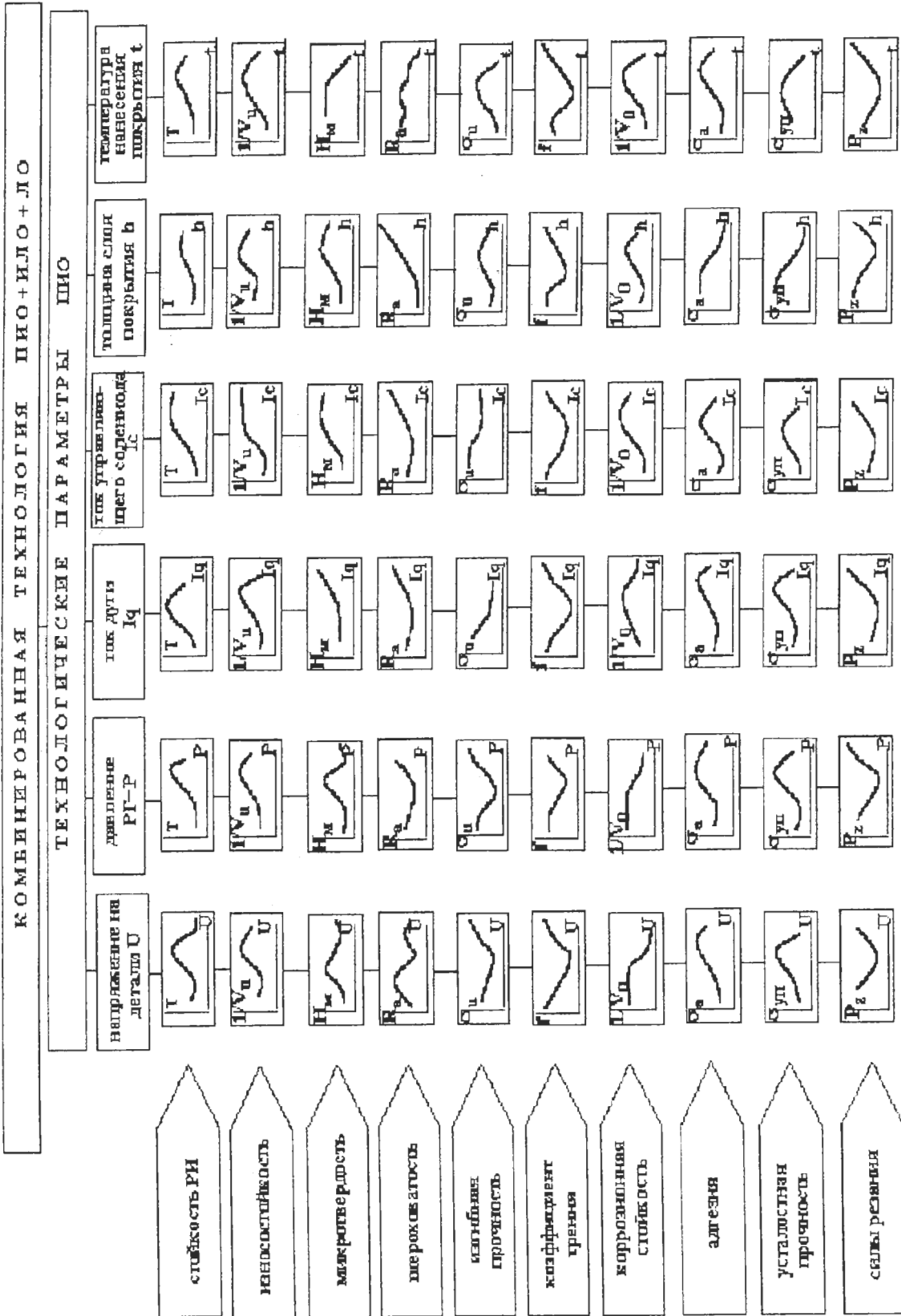


Рис. 2. Системные карты для ПИО

КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПИО+ИЛО+ЛО

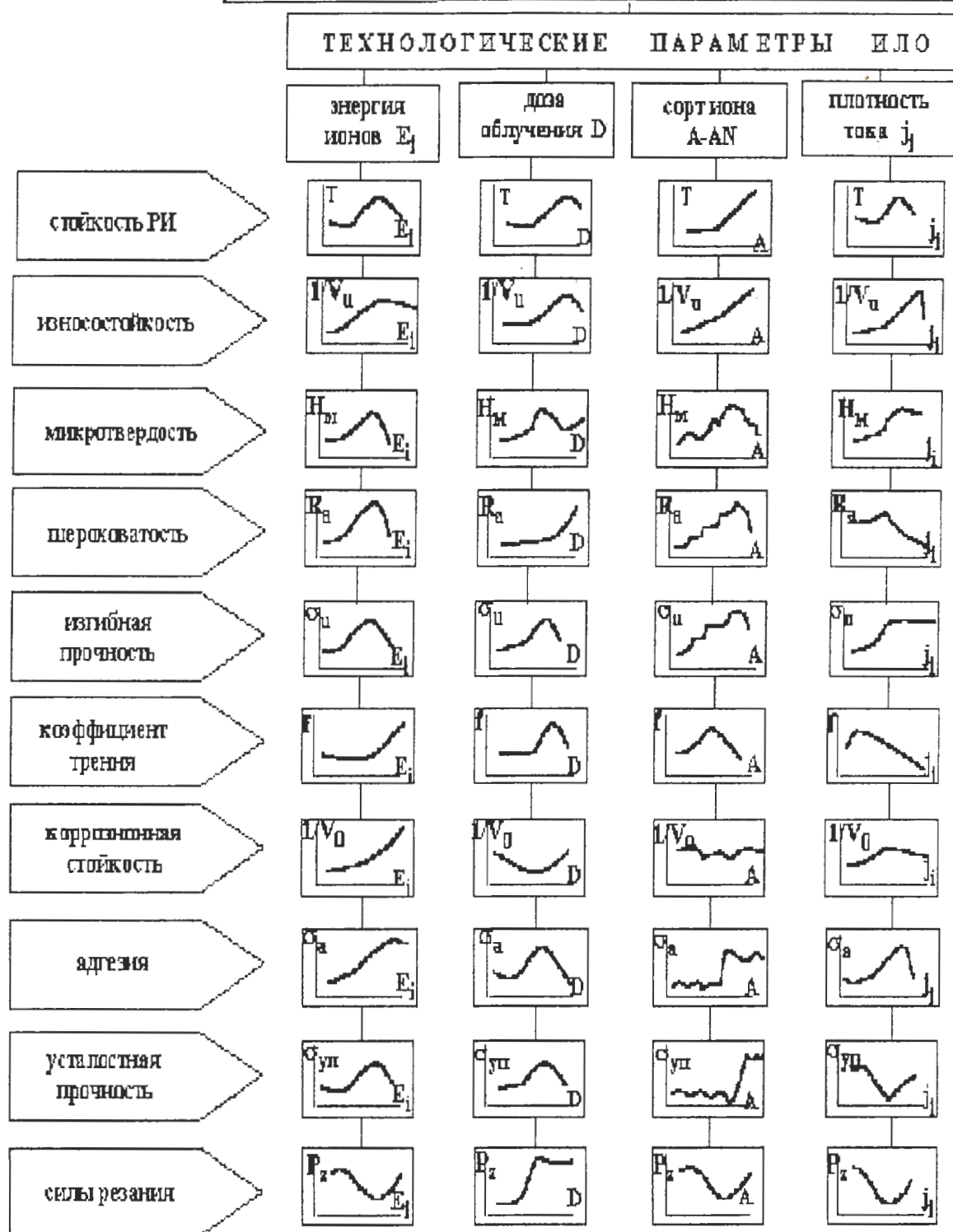


Рис. 3. Системные карты для ИЛО по технологическим параметрам



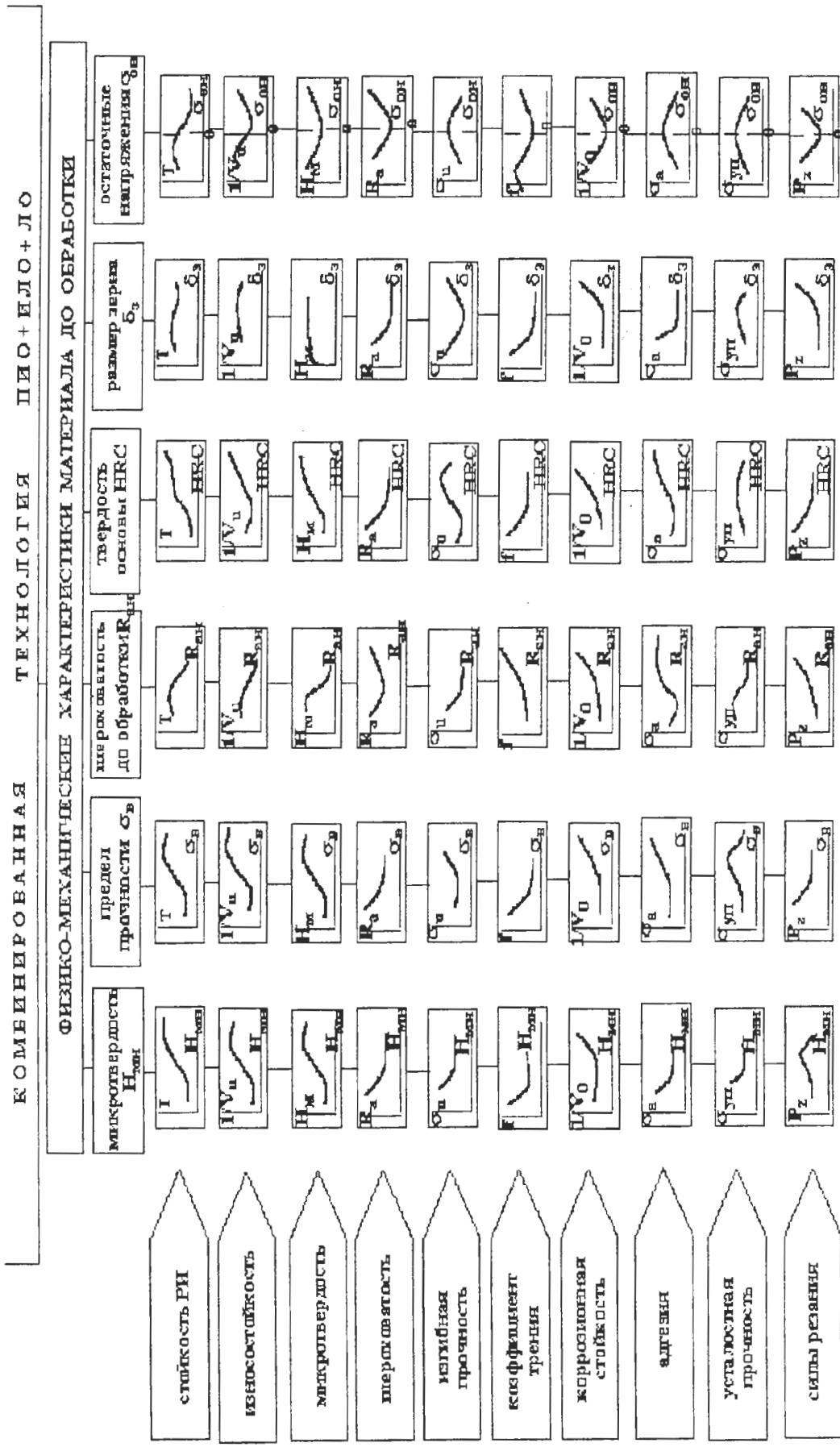


Рис. 4. Системные карты для ЛО

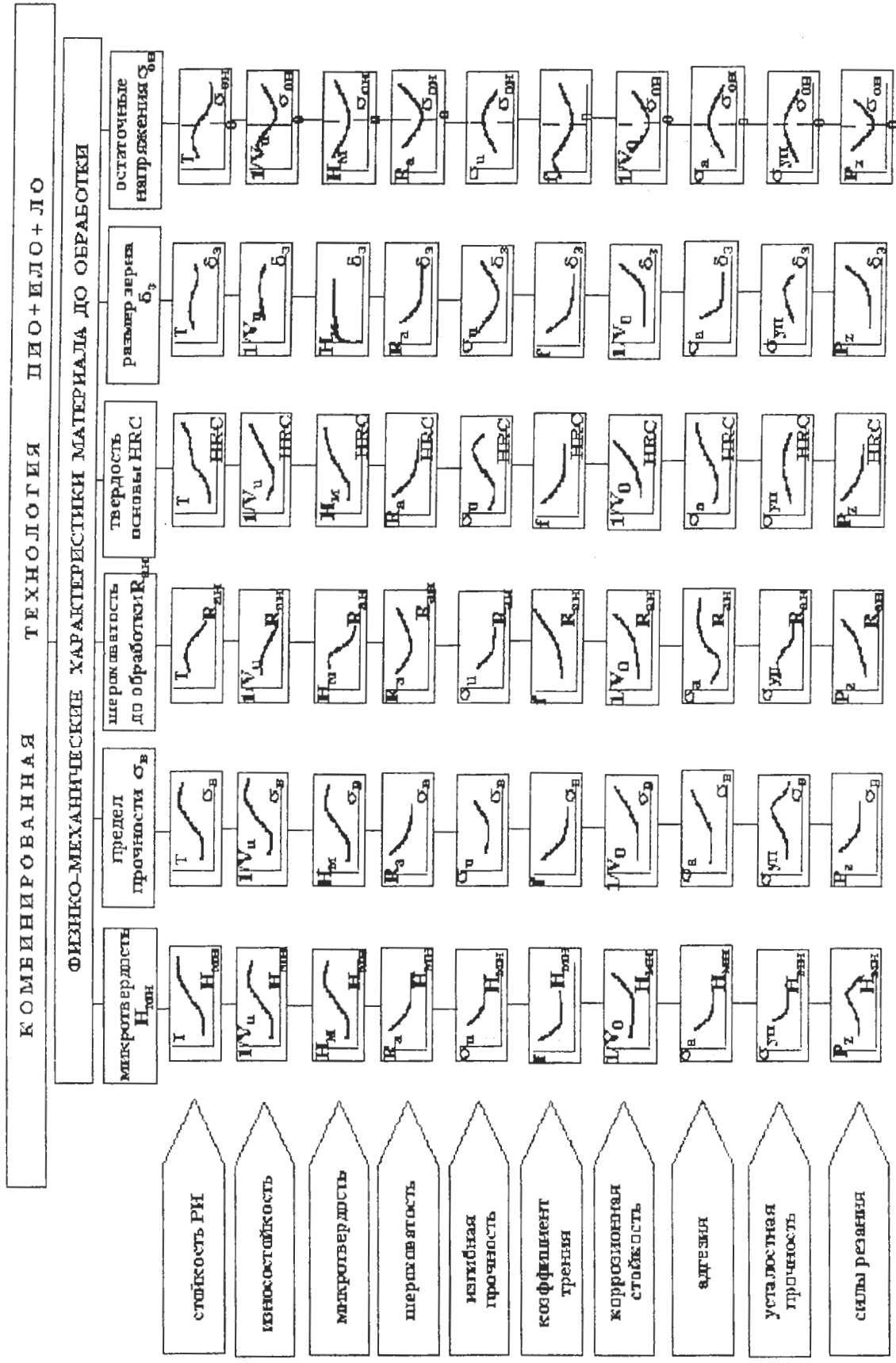


Рис. 5. Системные карты для

КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПИО+ИЛО+ЛО

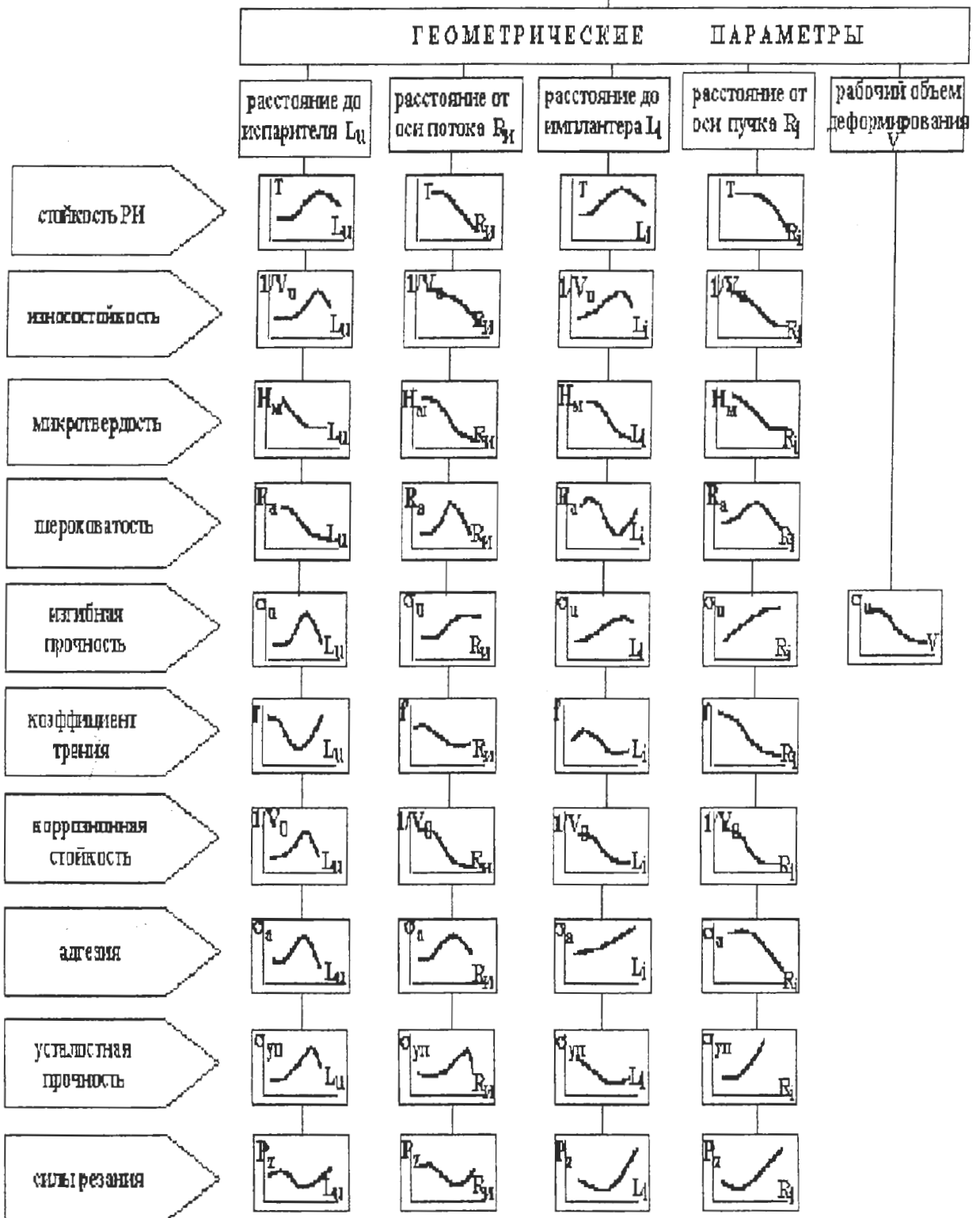


Рис. 6



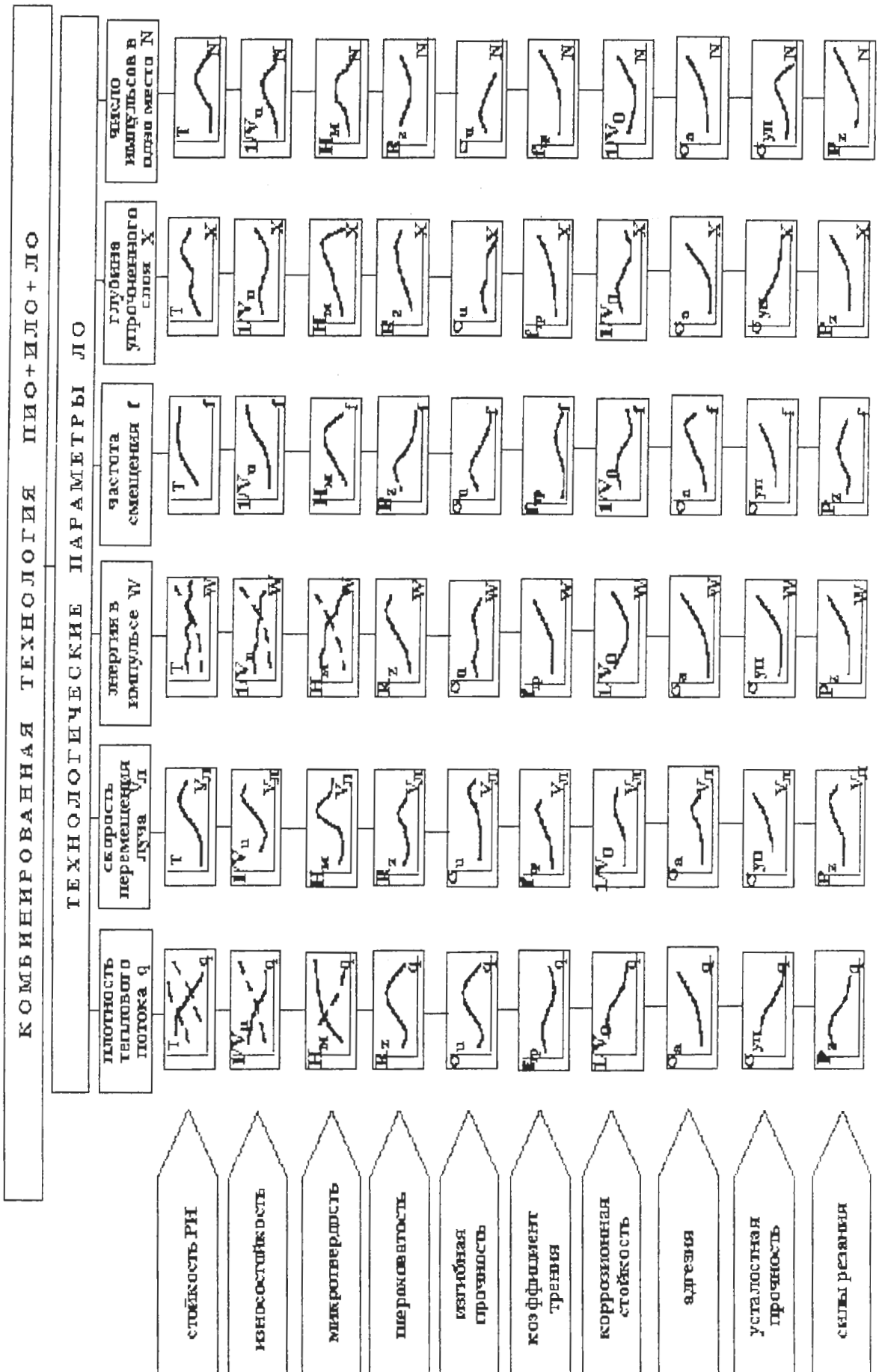


Рис.7

КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПИО+ЭЛО+ЛО

ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЛИЯНИЯ ТИПА ПОКРЫТИЙ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПИО

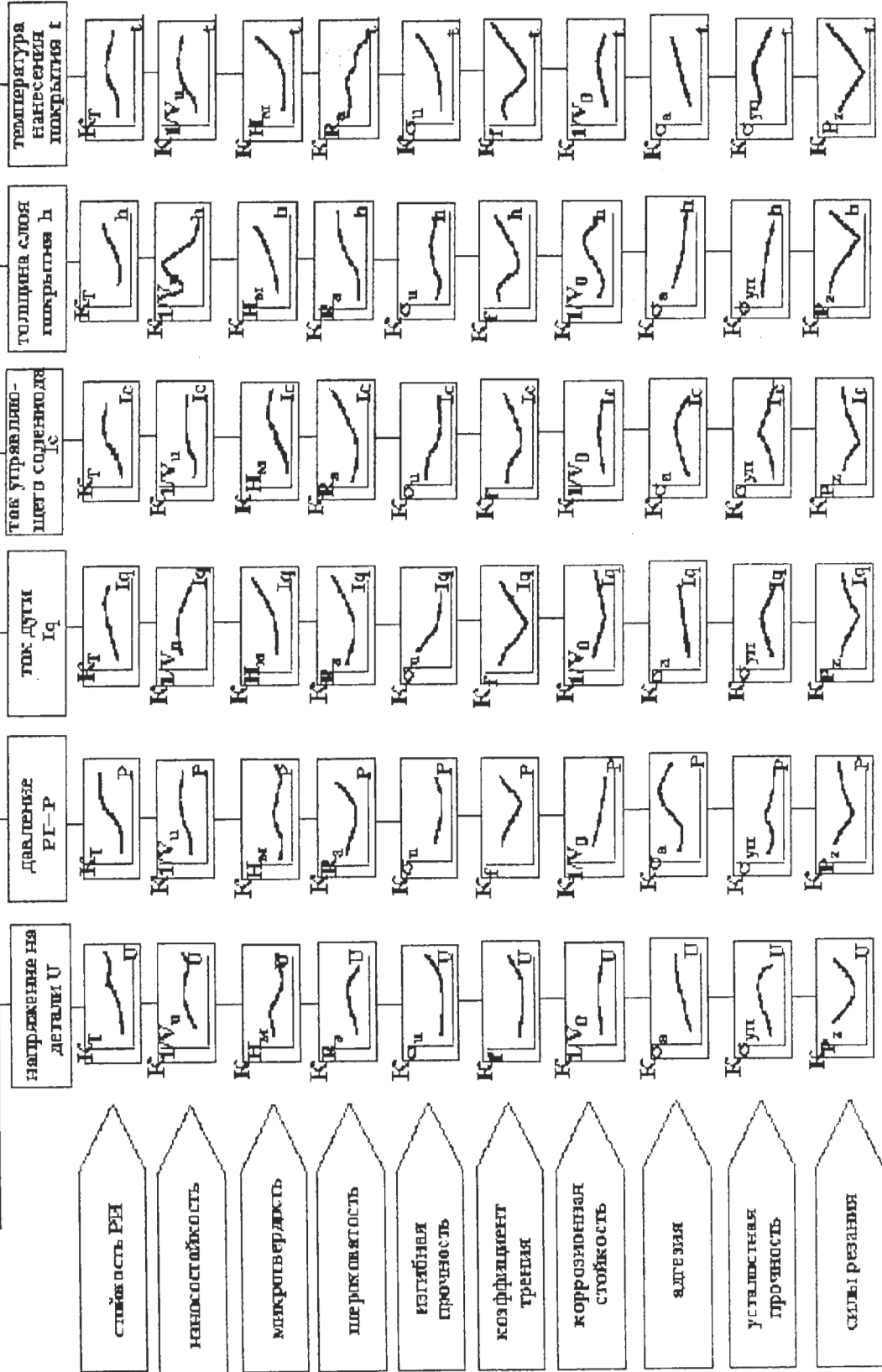


Рис. 8

КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПИО+ИЛО+ЛО

ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЛИЯНИЯ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЛО

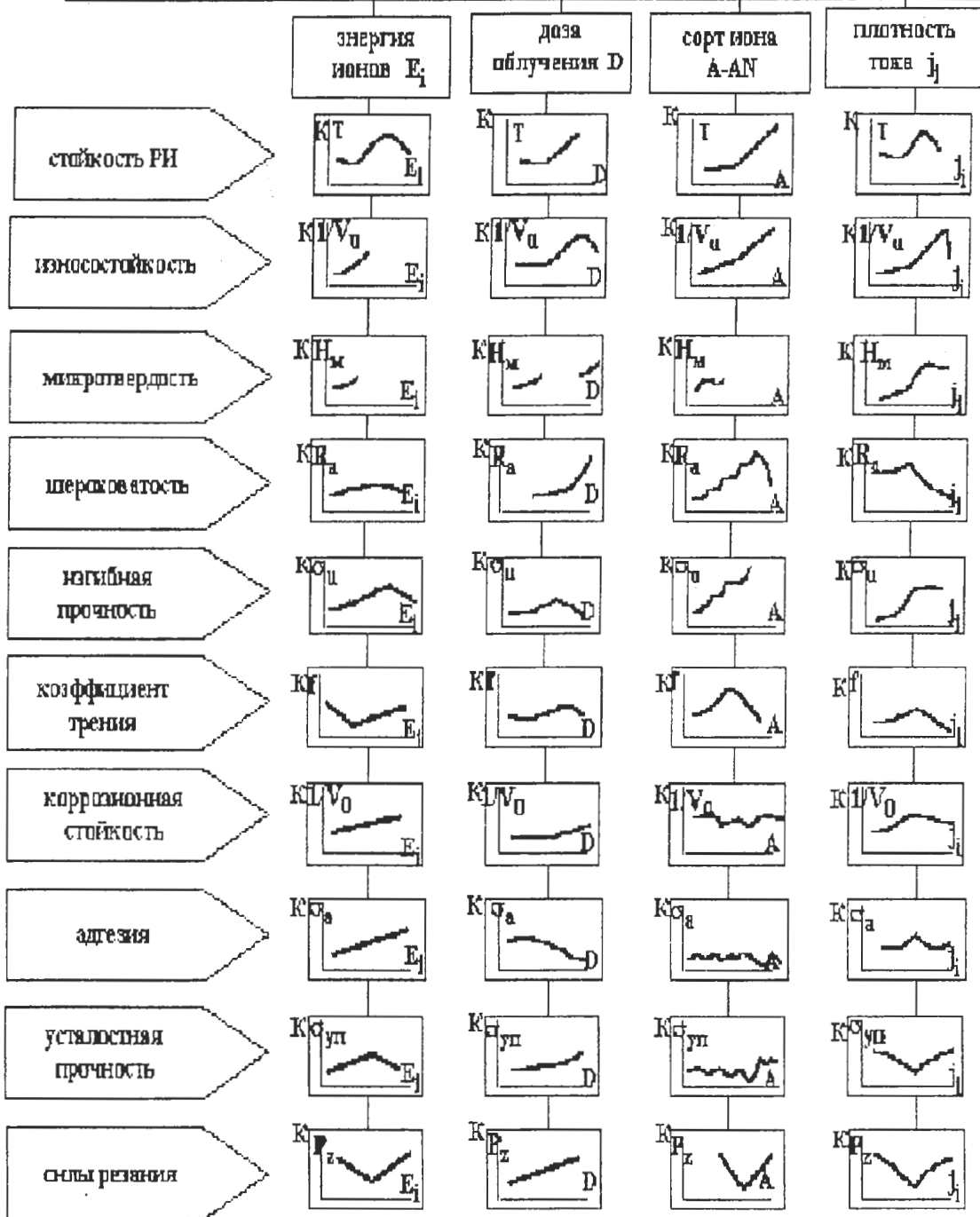


Рис. 9

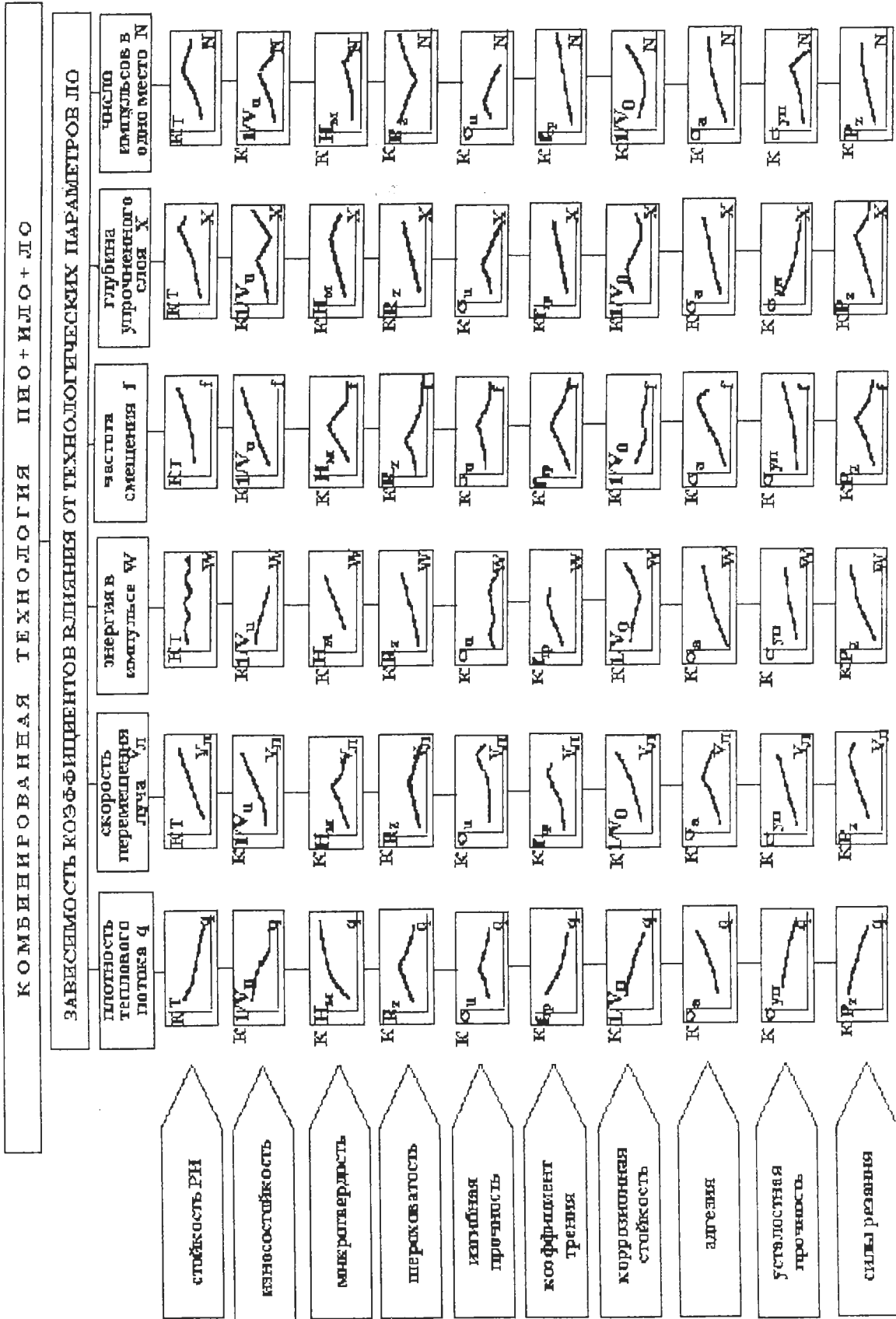


Рис.10

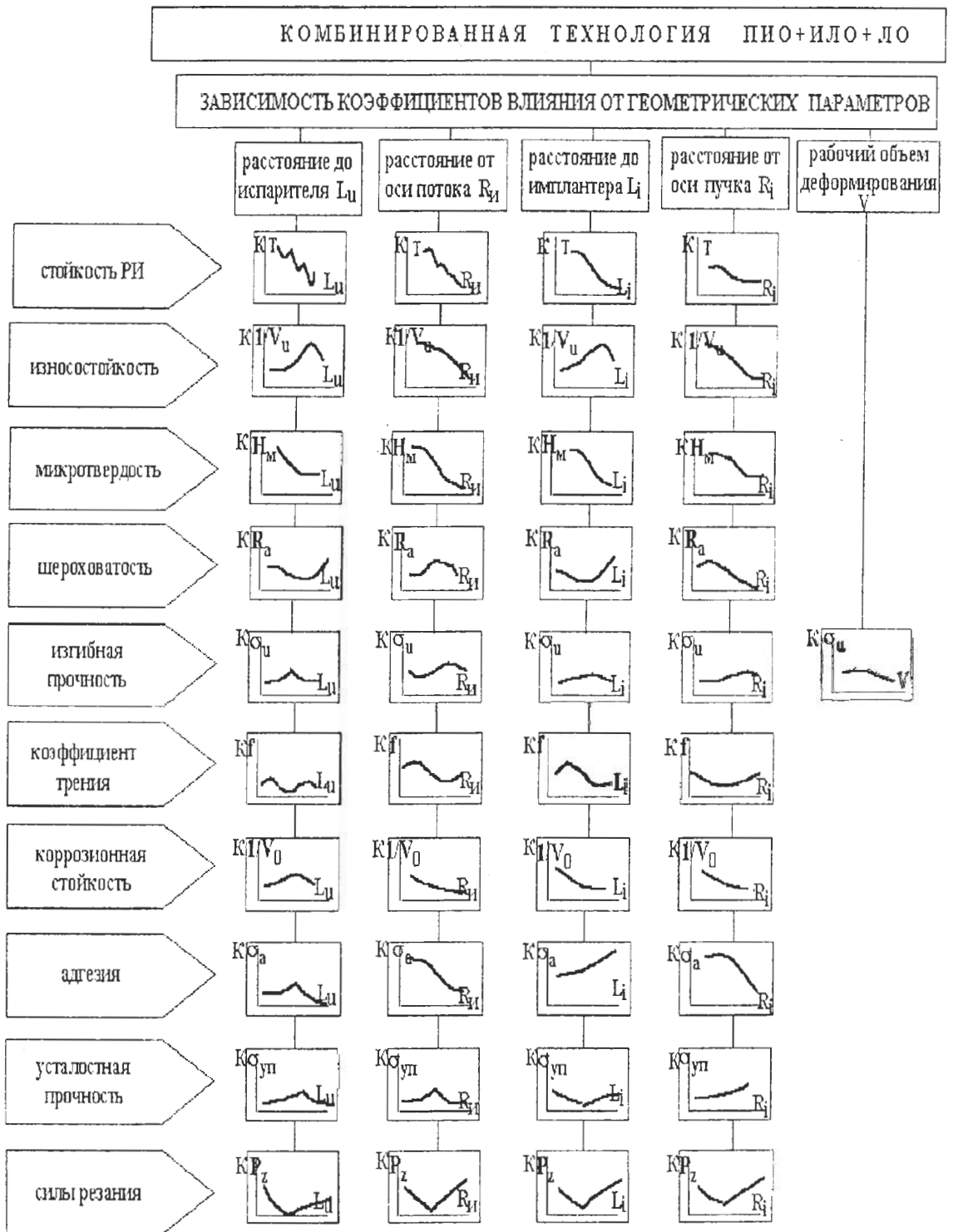


Рис. 11



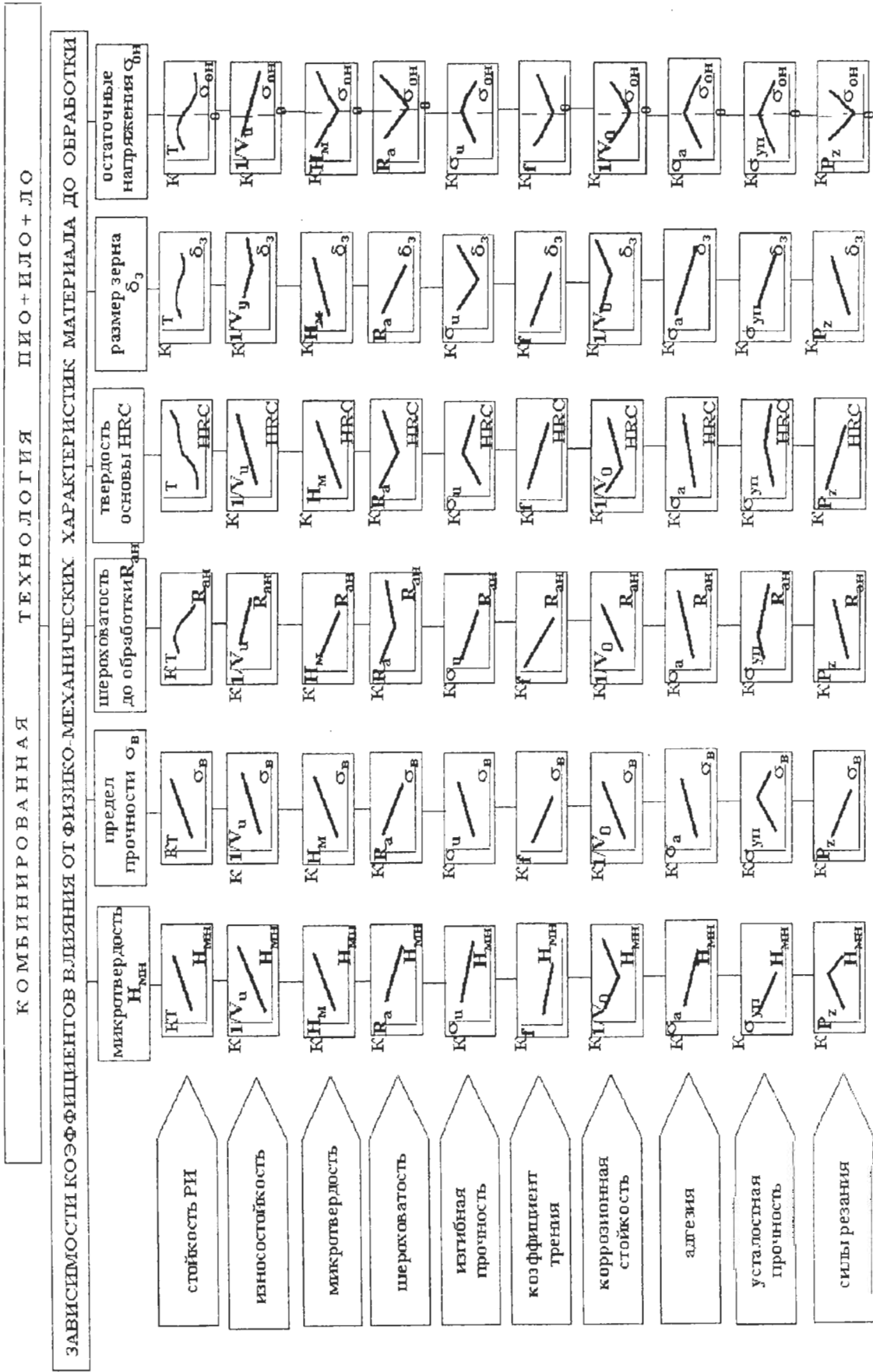


Рис.12

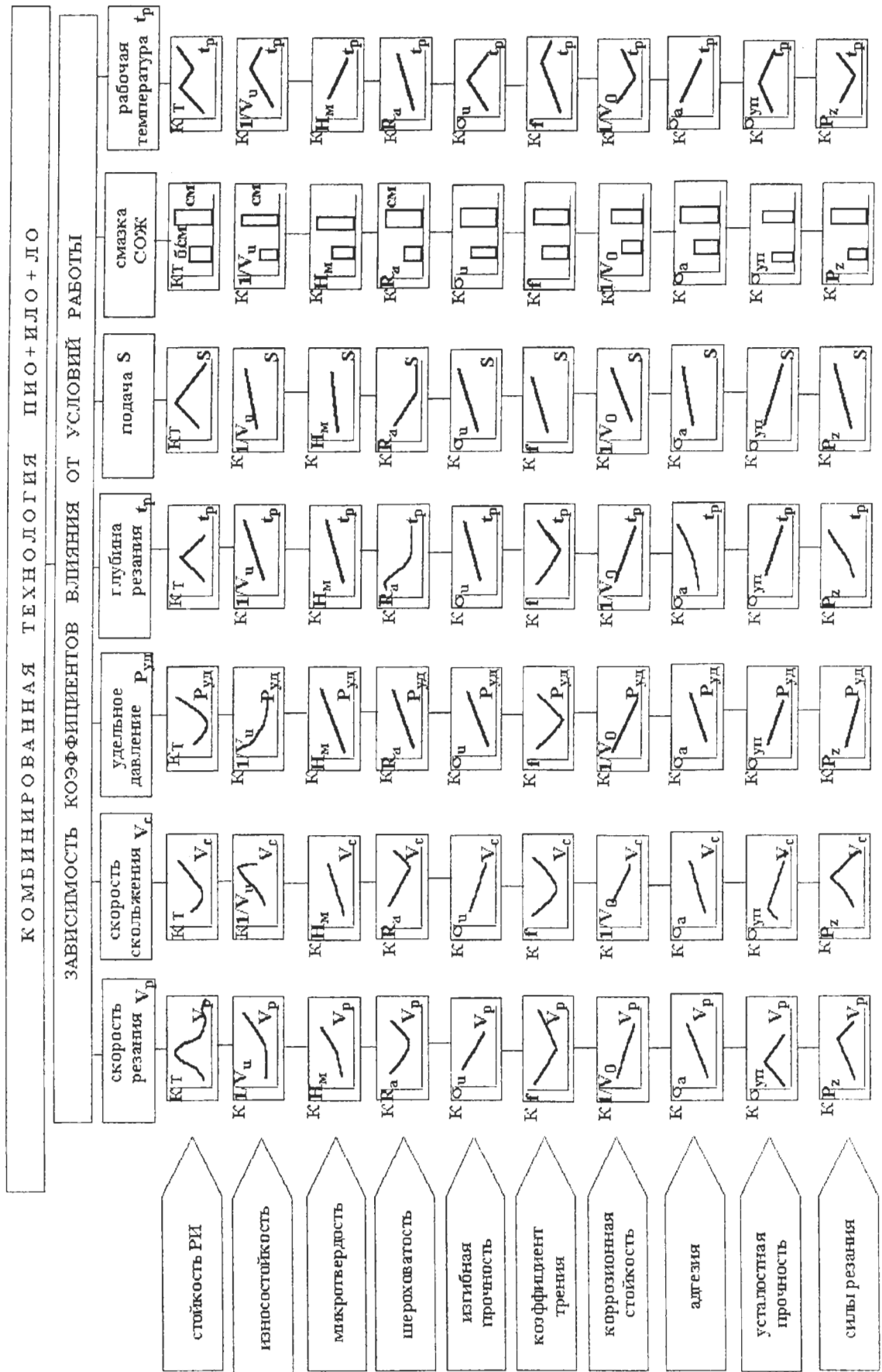


Рис. 13.

– наличия максимума в зависимости коэффициента влияния типа упрочнения качественную характеристику от технологического параметра говорит рациональном (оптимальном) значении технологического параметра обеспечивающего максимальное значение коэффициента влияния, а значит и качественной характеристики;

– монотонно убывающая или возрастающая зависимость коэффициента влияния от технологического параметра говорит о высоких возможностях управления качественной характеристикой с использованием этого технологического параметра;

– наличие трех и более значений технологического параметра соответствующих одному значению коэффициента влияния типа упрочнения на качественную характеристику говорит о неоднозначности влияния технологического параметра и сложности управления КХ с помощью данного технологического параметра;

– пологость функции вблизи максимума, плавность изменения коэффициента влияния от технологического параметра говорит о возможности использования систем управления с заглубленными обратными связями и с простыми относительно грубыми датчиками по определению технологических параметров.

#### **КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЛИЯНИЯ ТИПА УПРОЧНЕНИЯ НА КАЧЕСТВЕННУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И РИ В РАБОЧЕМ ОБЪЕМЕ УСТАНОВКИ**

Исследование системных карт для коэффициентов влияния на качественные характеристики геометрических параметров размещения РИ в рабочем объеме установки:

– плавность изменения (с максимумом или без него) функции коэффициента влияния качественной характеристики РИ от геометрического параметра размещения РИ в рабочем объеме установки говорит о возможности рационального размещения деталей в объеме установки и возможности наиболее полного использования рабочего объема установки;

– наличие резкого изменения функции (с максимумом или без него) коэффициента влияния типа упрочнения на качественную характеристику деталей и РИ от геометрического параметра размещения в рабочем объеме установки говорит о возможности существенного отличия значений этой качественной характеристики в случае высокого заполнения рабочей зоны, а для получения более или менее стабильных свойств

деталей рабочий объем необходимо заполнить избирательно, т.е. установка будет работать с низкой производительностью;

– наличие трех и более значений геометрического параметра размещения деталей и РИ в рабочем объеме установки, соответствующих одному значению коэффициента влияния на качественную характеристику говорит о возможности получения относительно стабильного значения качественной характеристики и если величина КХ достаточна, то можно рационально использовать значительную часть или весь рабочий объем установки;

– величина коэффициента влияния качественной характеристики от геометрических параметров размещения деталей и РИ в рабочем объеме установки говорит о возможностях технологии или типа покрытий, включаемых в комбинированную.

#### **КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЛИЯНИЯ ТИПА УПРОЧНЕНИЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТАЛЕЙ И РИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДО ОБРАБОТКИ**

Проведенный анализ взаимосвязи физико-механических характеристик материала деталей и РИ до обработки и коэффициентов влияния типа обработок на качественные характеристики до обработки показали:

– максимальная величина коэффициента влияния на качественную характеристику от физико-механической характеристики (ФМХ) до обработки говорит о возможностях технологии по повышению данной КХ данной ФМХ;

– диапазон изменения коэффициента влияния качественной характеристики от физико-механической характеристики до обработки говорит о широких возможностях регулирования КХ данной ФМХ;

– монотонно возрастающая или убывающая функция зависимости коэффициента влияния КХ от физико-механических характеристик до обработки говорит о высоких возможностях управления КХ за счет изменения ФМХ до обработки;

– наличие максимума на зависимости коэффициента влияния типа обработки качественной характеристики от физико-механических характеристик материала перед обработкой говорит о рациональных (оптимальных) значениях ФМХ до обработки, обеспечивающих максимум качественной характеристики;

– плавность (пологость) изменения функции вблизи максимума коэффициента влияния от физико-механических характеристик деталей и РИ до обработки говорит о возможности использования ФМХ РИ до обработки в широком диапазоне ее изменения без существенного ухудшения свойств обработанной РИ;

– наличие трех и более значений физико-механической характеристики РИ до обработки соответствующих одинаковому значению коэффициента влияния на качественную характеристику говорит о неоднозначности влияния ФМХ до обработки на КХ после обработки, говорит о возможности получения относительно стабильных значений коэффициента влияния на кх.

### **КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЛИЯНИЯ ТИПА ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ДЛЯ РИ**

Проведенный анализ взаимосвязи коэффициентов влияния типа обработки на качественные характеристики режимов резания показал:

– максимальная величина коэффициента влияния вида обработки на качественную характеристику на зависимости от условий эксплуатации и режимов резания (например, скорости скольжения) говорит о возможностях повышения КХ в различных условиях работы РИ;

– диапазон изменения коэффициента влияния на КХ в зависимости от конкретных параметров условий работы РИ говорит о возможности выбора наиболее приемлемых условий (режимов резания);

– монотонно убывающая или возрастающая (с максимумом или без него) функция зависимости коэффициента влияния КХ от режимов резания говорит о возможности применения широкого диапазона (параметров) режимов резания для РИ;

– наличие максимальной функции коэффициента влияния типа обработки на КХ от параметров условий работы (режимов резания) детали (РИ) говорит о возможности достижения рациональных (оптимальных) режимов обработки для которых реализуется максимальное значение КХ;

– плавность (пологость) изменения функции коэффициента влияния от параметров режимов резания для РИ говорит о возможности варьирования в широком диапазоне параметров режимов резания для РИ;

– наличие трех и более значений параметров режимов резания для РИ говорит о неоднознач-

ности влияния условий обработки детали на коэффициент влияния, что говорит о получении относительно стабильных значений коэффициентов влияния качественных характеристик.

Проведенные исследования позволяют совместно с данными работы [10] создать предпосылки создания АРМ технолога комбинированного упрочнения режущего инструмента, а также АРМ технолога по механообработке и комбинированному упрочнению режущего инструмента.

### **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ ИЛИ КОМБИНИРОВАННОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ И СВОЙСТВ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Проведенный объем исследований коэффициентов влияния вида обработки на качественные характеристики (стойкость РИ, износостойкость, коэффициент трения, микротвердость и шероховатость поверхности, адгезию, коррозионную стойкость, изгибную прочность, усталостную прочность, жесткость и прочность) технологических параметров при плазменно-ионной, ионно-лучевой и лазерной обработке, геометрических параметров размещения детали в установке, физико-механических свойств материала РИ до обработки, режимов резания позволяет довольно эффективно использовать эти результаты для выбора технологических параметров обработки, эффективного размещения РИ в рабочем объеме установки, рационально выбрать физико-механические свойства до обработки или создавать их предварительно за счет одной из индивидуальных технологий в комбинированной и корректировать виды покрытий и упрочнений в зависимости от режимов резания для РИ.

Примеры значений и зависимостей коэффициентов влияния для плазменно-ионной, ионно-лучевой, лазерной обработки и для различных качественных характеристик в различных условиях обработки представлены в работе [10]. Все это создает основы для реализации автоматизированного интегрированного технологического сопровождения упрочняющих технологий для деталей и РИ и позволяет технологу выбрать технологические параметры обработки; создать технологическую оснастку, дающую возможность эффективно использовать рабочий объем установки; выбрать требуемые для эффективного упрочнения физико-механические свойства материала РИ перед обработкой или создать их

за счет одной из предварительных видов обработки перед упрочнением; определить рациональные режимы резания или скорректировать технологические параметры с целью получения наилучших качественных характеристик в заданных режимах и условиях эксплуатации и режимах резания.

Перед конструктором деталей и РИ, прежде чем решать вопрос об использовании того или иного покрытия или того или иного вида комбинированного упрочнения, необходимо определиться с требуемыми физико-механическими характеристиками поверхностного слоя материала детали или РИ в зависимости от назначения детали и РИ, условий работы и режимов резания. В этом случае конструктор выступает как эксперт, определяя степень важности той или иной качественной характеристики для эксплуатации детали и РИ, которую можно оценить экспертным весовым коэффициентом в комплексе требуемых свойств РИ  $\xi_{\Sigma}$  с соответствующим индексом качественной характеристики (например, для износостойкости  $\xi_{\Sigma}^{изн}$ ), который лежит в пределах от 1 до 0,1, если эксперт считает, что это свойство влияет на работоспособность РИ менее 10 %, то это свойство очевидно не следует учитывать.

Естественно, надо учитывать влияние материала детали и РИ, если соответствующих коэффициентов влияния соответствующих видов обработок для данного материала детали и РИ нет, тогда это влияние учитывается коэффициентом материала для соответствующей качественной характеристики  $\xi_m$  (например, для износостойкости  $\xi_m^{изн}$ ), он получается как отношение значений качественной характеристики детали с данным материалом к качественной характеристике базового материала, полученных в единых условиях обработки (упрочнения), если для такого материала есть соответствующие коэффициенты влияния на качественную характеристику вида упрочнения, тогда коэффициент  $\xi_m = 1$ .

Исходя из выше сказанного можно получить выражение для коэффициента эффективности использования того или иного покрытия или вида упрочнения как индивидуального так и комбинированного, тогда этот коэффициент можно представить в виде:

$$K_{эф} = \left[ \xi_m^{СТ} K_{ПНО}^{СТ} K_{ИЛО}^{СТ} K_{ЛО}^{СТ} \xi_{пнок}^{СТ} \xi_{\Sigma}^{СТ} + \xi_m^{КТР} K_{ПНО}^{КТР} K_{ИЛО}^{КТР} K_{ЛО}^{КТР} \xi_{пнок}^{КТР} \xi_{\Sigma}^{КТР} + \xi_m^{изн} K_{ПНО}^{изн} K_{ИЛО}^{изн} K_{ЛО}^{изн} \xi_{пнок}^{изн} \xi_{\Sigma}^{изн} + \xi_m^{жест} K_{ПНО}^{жест} K_{ИЛО}^{жест} K_{ЛО}^{жест} \xi_{пнок}^{жест} \xi_{\Sigma}^{жест} + \xi_m^{шер} K_{ПНО}^{шер} K_{ИЛО}^{шер} K_{ЛО}^{шер} \xi_{пнок}^{шер} \xi_{\Sigma}^{шер} + \xi_m^{изг.пр} K_{ПНО}^{изг.пр} K_{ИЛО}^{изг.пр} K_{ЛО}^{изг.пр} \xi_{пнок}^{изг.пр} \xi_{\Sigma}^{изг.пр} + \xi_m^{кор.ст} K_{ПНО}^{кор.ст} K_{ИЛО}^{кор.ст} K_{ЛО}^{кор.ст} \xi_{пнок}^{кор.ст} \xi_{\Sigma}^{кор.ст} + \xi_m^{адг.пр} K_{ПНО}^{адг.пр} K_{ИЛО}^{адг.пр} K_{ЛО}^{адг.пр} \xi_{пнок}^{адг.пр} \xi_{\Sigma}^{адг.пр} + \xi_m^{уст.пр} K_{ПНО}^{уст.пр} K_{ИЛО}^{уст.пр} K_{ЛО}^{уст.пр} \xi_{пнок}^{уст.пр} \xi_{\Sigma}^{уст.пр} + \xi_m^{уд.пр} K_{ПНО}^{уд.пр} K_{ИЛО}^{уд.пр} K_{ЛО}^{уд.пр} \xi_{пнок}^{уд.пр} \xi_{\Sigma}^{уд.пр} + \xi_m^{жест} K_{ПНО}^{жест} K_{ИЛО}^{жест} K_{ЛО}^{жест} \xi_{пнок}^{жест} \xi_{\Sigma}^{жест} + \xi_m^{пр} K_{ПНО}^{пр} K_{ИЛО}^{пр} K_{ЛО}^{пр} \xi_{пнок}^{пр} \xi_{\Sigma}^{пр} \right] \frac{1}{n_{сл}}, \quad (1)$$

где  $K_{ПНО}^{СТ} K_{ИЛО}^{СТ} K_{ЛО}^{СТ}$  – коэффициенты влияния на стойкость детали и РИ ПНО, ИЛО и ЛО;

$K_{ПНО}^{изн} K_{ИЛО}^{изн} K_{ЛО}^{изн}$  – коэффициенты влияния на износостойкость РИ плазменно-ионной (ПНО), ионно-лучевой (ИЛО) и лазерной (ЛО) обработки, обычно больше единицы;

$K_{ПНО}^{КТР} K_{ИЛО}^{КТР} K_{ЛО}^{КТР}$  – коэффициенты влияния на коэффициент трения материала РИ ПНО, ИЛО, ЛО;

$K_{ПНО}^{мик} K_{ИЛО}^{мик} K_{ЛО}^{мик}$  – коэффициенты влияния на микротвердость поверхности РИ после ПНО, ИЛО, ЛО;

$K_{ПНО}^{шер} K_{ИЛО}^{шер} K_{ЛО}^{шер}$  – коэффициенты влияния на шероховатость поверхности материала РИ после ПНО, ИЛО, ЛО;

$K_{ПНО}^{изг.пр} K_{ИЛО}^{изг.пр} K_{ЛО}^{изг.пр}$  – коэффициенты влияния на изгибную прочность после ПНО, ИЛО, ЛО;

$K_{ПНО}^{кор.ст} K_{ИЛО}^{кор.ст} K_{ЛО}^{кор.ст}$  – коэффициенты влияния на коррозионную стойкость РИ после ПНО, ИЛО, ЛО;

$K_{ПНО}^{адг.пр} K_{ИЛО}^{адг.пр} K_{ЛО}^{адг.пр}$  – коэффициенты влияния на адгезионную прочность материала РИ после ПНО, ИЛО, ЛО;

$K_{ПНО}^{уст.пр} K_{ИЛО}^{уст.пр} K_{ЛО}^{уст.пр}$  – коэффициенты влияния на усталостную прочность материала РИ после ПНО, ИЛО, ЛО;

$K_{ПНО}^{уд.пр} K_{ИЛО}^{уд.пр} K_{ЛО}^{уд.пр}$  – коэффициенты влияния на ударную прочность материала РИ после ПНО, ИЛО, ЛО;



$K_{\text{ПНО}}^{\text{жест}}$   $K_{\text{ИЛО}}^{\text{жест}}$   $K_{\text{ЛО}}^{\text{жест}}$  – коэффициенты влияния на жесткость РИ после ПНО, ИЛО, ЛО;

$K_{\text{ПНО}}^{\text{пр}}$   $K_{\text{ИЛО}}^{\text{пр}}$   $K_{\text{ЛО}}^{\text{пр}}$  – коэффициенты влияния на прочность РИ после ПНО, ИЛО, ЛО;

$\xi_{\text{пок}}^{\text{СТ}}$  ;  $\xi_{\text{пок}}^{\text{изн}}$  ;  $\xi_{\text{пок}}^{\text{КТР}}$  ;  $\xi_{\text{пок}}^{\text{мик}}$  ;  $\xi_{\text{пок}}^{\text{шер}}$  ;  $\xi_{\text{пок}}^{\text{изг.пр}}$  ;  $\xi_{\text{пок}}^{\text{кор.ст}}$  ;  
 $\xi_{\text{пок}}^{\text{адг.пр}}$  ;  $\xi_{\text{пок}}^{\text{уст.пр}}$  ;  $\xi_{\text{пок}}^{\text{уд.пр}}$  ;  $\xi_{\text{пок}}^{\text{жест}}$  ;  $\xi_{\text{пок}}^{\text{пр}}$  – коэф-

фициенты влияния на стойкость РИ, износостойкость, коэффициент трения, микротвердость, шероховатость, изгибную прочность, коррозионную стойкость, адгезионную прочность, усталостную прочность, ударную прочность, жесткость и прочность вида покрытия по сравнению с базовыми  $\text{Mo}_2\text{N}$  или  $\text{TiN}$ ;  $n_{\text{сл}}$  – число слагаемых, участвующих в формуле.

В случае, когда соответствующие коэффициенты влияния для данного вида покрытия, сорта имплантированного иона (ионов) или режимов лазерной обработки отсутствует, то эти коэффициенты берутся для исследованного покрытия, сорта иона или режима обработки с соответствующей корректировкой (умножаем на величину отношения данных свойств с требуемым покрытием (сортом иона или условием обработки) к известным, а коэффициент и его зависимости от различных параметров берутся для базового покрытия (сорта иона или условий обработки)).

Конструктор, сравнивая значения коэффициента эффективности использования покрытия или упрочнения, выбирает покрытие или упрочнение, позволяющее получить максимальное значение коэффициента эффективности. В дальнейшем он проверяет соответствие главной качественной характеристики и диапазон остальных требуемых по техническому заданию. Если требования удовлетворены, то выбранный вид обработки рекомендуется для РИ, если нет, то производится аналогичный поиск для тех покрытий и видов упрочнений, для которых коэффициент эффективности упрочнения несколько ниже, если и в этом случае нет реальной обработки, которая бы обеспечила комплекс свойств, рассматриваются другие материалы РИ или виды обработки.

## ВЫВОДЫ

✓ проведена систематизация результатов полученных автором и его школой и результатов других исследователей для создания системных карт зависимостей качественных характеристик (износостойкость, микротвердость, шероховатость и др.) от технологических параметров для плаз-

менно-ионной, ионно-лучевой, светолучевой и комбинированной обработки;

✓ реализована систематизация результатов полученных автором и его школой и результатов других авторов по получению зависимостей коэффициента влияния типа покрытия и упрочнения на зависимой качественных характеристик от технологических и геометрических параметров размещение детали в установке от физико-механических характеристик детали и РИ перед обработкой, условий эксплуатации деталей и режимов резания для РИ;

✓ создана методика оценки эффективности комбинированного упрочнения и нанесения того или иного типа покрытия с точки зрения повышения его качественных характеристик.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мацевитый В.М. Покрытия для режущих инструментов. – Харьков: из-во при ХГУ издательского объединения “Высшая школа”, 1987.– 128 с.
2. Третьяков И.П., Верещака А.С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями – М.: Машиностроение, 1986. – 190 с.
3. Диденко А.Н., Мегачев А.Е., Куракин И.В. Воздействие пучков заряженных частиц на поверхность металлов и сплавов.– М.: Энергоиздат, 1987. – 184 с.
4. Коваленко В.С., Меркулов Г.В., Стрижак А.И. Упрочнение деталей лучом лазера. – К.: Техника, 1981. – с.
5. Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н. Основы лазерного термоупрочнения. – М.: Высшая школа, 1988. – 159 с.
6. Костюк Г.И. Физические процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий. Книга 1. – Харьков: изд-во АИНУ, 2002. – 587 с.
7. Костюк Г.И. Справочник для расчета основных физических и технологических параметров, оценки возможностей, выбора типа технологий и оборудования. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий. Книга 2. – Харьков: изд-во АИНУ, 2002. – 441 с.
8. Мухин В.С., Мингажев А.Р., Смыслов А.М., Абрамов В.Г. Разработки и исследование свойств жаростойких покрытий в условиях регулярной структуры //Материалы Всесоюзный НТК “Проблемы обеспечения свойств поверхности, Уфа (Россия).– 198. – С. 23-29

9. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты.– К.: Выща школа, 1986. – 455 с.
10. Костюк Г.И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем. Справочник. – К.: изд-во АИНУ, 2003. – 412 с.

**ПЕРСПЕКТИВИ ТА РЕАЛЬНІСТЬ  
ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНОВАНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ ЗМІЦНЕННЯ ТА НАНЕСЕННЯ  
ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ  
МАШИНОБУДУВАННЯ ТА В  
ІНСТРУМЕНТАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ  
(II. ТЕОРЕТИЧНІ ТА СИСТЕМНІ АСПЕКТИ)**

**Г.І. Костюк**

На основі реалізації нових фізичних, технічних і системних підходів до зміцнення деталей машинобудування та різального інструменту показана можливість наукового вибору ефективної технології зміцнення та нанесення моношарових і багат шарових покриттів, забезпечення високої продуктивності обробки й одержання рівнотовщинних покриттів на деталях. Показано можливість істотного підвищення якісних характеристик деталей завдяки комбінованій обробці.

**PROSPECTS AND REALITY OF APPLICATION  
OF THE COMBINED TECHNOLOGIES OF  
HARDENING AND DRAWING OF COVERINGS  
FOR HARDENING DETAILS OF  
MECHANICAL ENGINEERING AND IN  
TOOL MANUFACTURE  
(II. THEORETIC AND SYSTEMS ASPECTS)**

**G.I. Kostyuk**

On the basis of realization of the new physical, technical and system approaches to the strengthening of machine parts and cutting tools the possibilities of a scientific choice of the effective technology of strengthening, deposition of a single- and multi-layer coatings, high-productive and equi-thickness coatings is shown. The possibility to increase significantly the qualitative characteristics of the parts due to the combined treatment is demonstrated.