

УДК 658.012.122 - 621.921.34

**П. И. Кравец**, канд. техн. наук

*Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев, Украина*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА И ОБРАБОТКИ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*The paper deals with the method of implementation of automatic control system to manufacture and process superhard materials.*

Производство синтетических сверхтвердых материалов (ССМ) насчитывает уже более чем полувековую историю. Однако и в настоящее время технология производства ССМ не гарантирует высокий процент выхода изделий с заданными количественными и качественными характеристиками, отличается высокой энергоемкостью и практически полностью зависит от квалификации оператора. Такое состояние технологии производства ССМ связано в первую очередь с ее некоторыми особенностями, а именно:

- ненаблюдаемостью процесса преобразования материалов в процессе производства;
- ненаблюдаемостью состояния основных технологических параметров – температуры и давления – в зоне преобразования материалов;
- ненаблюдаемостью технического состояния технологического оборудования;
- разбросом качественных показателей исходных материалов и технологических заготовок подготовки производства и др.

Перечисленные информационные особенности в своем комплексе сводят процесс принятия управленческих решений к проблемам, которые известны в теории систем автоматического управления как проблемы управляемости процессом производства в условиях неопределенности. В таких условиях найти более менее правильное управленческое решение может лишь опытный квалифицированный оператор, однако найти решение, оптимизирующее выход годных изделий и минимизирующее энергозатраты, ему не под силу.

Одним, и единственным, путем решения проблемы управляемости технологическим процессом производства ССМ есть совершенствование системы управления – создание автоматизированной системы управления процессом производства на основе интеллектуальных информационных технологий, способных решать задачи управления в условиях неопределенности.

Что же мы имеем в области автоматизации процесса производства ССМ сегодня?

Технологическое оборудование лучших мировых производителей оснащено т.н. автоматизированными системами управления, основной задачей которых является контроль, управление, визуализация и протоколирование некоторых технологических параметров (температуры, тока, напряжения, мощности, проводимости, электрического сопротивления, давления), косвенно и неоднозначно связанных с основными технологическими параметрами, существующими в зоне обработки и преобразования материалов (например, системы управления на основе контроллеров КС-4, КС-5 разработки Института физики твердого тела НАН Белоруссии, обновленные разработки России и др. зарубежные разработки). Такие системы создают видимость автоматизации процесса производства и по существу ничем не отличаются от простых систем управления, реализованных на большинстве единиц технологического оборудования.

Основные их возможности – это программное управление мощностью (током, напряжением) нагрева, усилием прессового оборудования и информационные удобства для оператора, а все остальные задачи по выбору стратегии управления технологическим процессом по-прежнему возлагаются на оператора. А это значит, что поставленные выше проблемы и задачи такими системами по-прежнему не решаются. Для обоснования выбора нужной структуры автоматизированной системы управления проанализируем перечисленные выше основные особенности технологии производства ССМ.

Ненаблюдаемость технологии преобразования исходных материалов в готовые изделия связана, в основном, с отсутствием технологических средств и технологий прямого контроля процесса преобразования материалов в готовые изделия. В то же время сам процесс преобразования материалов хорошо изучен как физико-химическое явление, построены диаграммы термобарических и термомеханических состояний температурных полей, изучены процессы электро- и массопереноса и др. [1], что дает возможность построить целый ряд моделей процесса преобразования материалов, на которых можно строить системы управления. Сам факт, что процессом может управлять оператор, уже говорит о том, что существует модель процесса в виде знаний оператора, основанная на статистических данных. Все эти модели могут служить основанием для реализации системы управления процессом производства ССМ без текущего контроля самого процесса.

Ненаблюдаемость основных технологических параметров связана с отсутствием промышленных технологий их прямого контроля (лабораторные технологии существуют, но они достаточно трудоемкие, ненадежны и дорогостоящие), поэтому даже в лабораторных условиях обходятся контролем более доступных параметров, косвенно характеризующих основные технологические параметры – электрической мощности нагрева, тока, напряжения, электрической проводимости или электрического сопротивления рабочей камеры, давления в гидросистеме технологического пресса. Эти параметры в совокупности дают общее представление о ходе технологического процесса и ориентируясь на них, можно с какой-то долей вероятности судить о ходе технологического процесса, т.е можно построить некоторую модель управления процессом производства ССМ как функционал от этих параметров. Эти же параметры могут служить основой для построения модели технического состояния технологического оборудования.

Что касается влияния разброса показателей исходных технологических заготовок и материалов, то следует соблюдать условие, что их показатели всегда находятся в некоторых допустимых значениях, определяемых технологией производства, выход за которые не гарантирует результата технологического процесса.

Таким образом, из проведенного анализа следует, что ненаблюдаемость текущих состояний объекта и управляющих параметров не позволяет реализовать управление процессом производства ССМ в реальном времени, несмотря на наличие всех моделей, необходимых для управления технологическим процессом.

Однако если оценивать результаты технологического процесса и на их основе вычислять по оговоренным выше моделям прогноз управляющих воздействия для последующего технологического цикла, то таким образом можно управлять процессом производства, что, собственно, и делает оператор, опираясь на свой опыт и знания. Основной проблемой при таком управлении есть отсутствие технических средств оперативной оценки результатов проведенного технологического процесса, поэтому на данном этапе оценку результатов должен выполнять оператор, хотя это опять же вводит в систему управления субъективный фактор опыта и знаний оператора. Однако этот подход существенно сужает роль оператора в выборе управляющих решений, концентрируя его знания и умение лишь на оценке результатов технологического процесса.

Исходя из проведенного анализа, можно предложить структуру автоматизированной системы управления, решающей поставленные выше задачи. Система содержит три уровня: исполнительский уровень, уровень решения оптимизационных задач (тактический уровень) и уровень решения стратегических задач – стратегический уровень. На исполнительском уровне решаются задачи точного дозирования управляющих параметров – мощности нагрева и давления в гидросистеме прессы. На тактическом уровне решаются задачи точного управления температурным полем внутри рабочей камеры и оптимального расхода энергетических ресурсов. На стратегическом уровне решаются задачи оптимизации результатов производства ССМ путем определения оптимальных значений управляющих параметров для последующего технологического процесса по результатам текущего технологического процесса, а также оценка состояния технологического оборудования.

Информационными величинами для исполнительского уровня есть напряжение и ток нагрева рабочей зоны технологического оборудования, на основе которых формируется управление мощностью нагрева, и давление в гидросистеме технологического прессы. В качестве регуляторов используются прецизионные регуляторы мощности, они описаны в [2], а в качестве регулятора давления – классические двухпозиционные регуляторы.

Информационными величинами тактического уровня являются:  
мощность нагрева рабочей зоны объекта;  
температура в ряде точек (2–4 точки) технологического оборудования и оснастки;  
температура охлаждающей среды на входе и выходе системы охлаждения технологического оборудования;  
расход охлаждающей жидкости.

На основе получаемой информации, используя модели динамики температурных полей, определяются управляющие воздействия для систем нагрева и охлаждения технологической оснастки и прессы. Результатом управления должно быть требуемое состояние температурного поля в рабочей зоне технологического оборудования. На этом же уровне решается оптимизационная задача по минимизации энергозатрат на создание этого температурного поля путем совместной оптимизации управлений для систем нагрева и охлаждения оборудования.

Основой тактического уровня является прямая и обратная математические модели динамики температурного поля технологической оснастки оборудования, посредством которых косвенным путем можно оценить состояние температурного поля в рабочей зоне по данным контроля температуры поля в других точках технологического оборудования [3]. Поскольку рассмотренные модели относятся к классу сложных нелинейных моделей со многими входами и многими выходами, то для решения задач оценки состояний поля и оптимизационных задач предлагается использовать синергетический подход, развиваемый в работах [4], с применением интеллектуальных технологий решения задач управления, например, на основе нейронных сетей.

Информационными величинами для стратегического уровня является качественная и количественная характеристики результатов проведенного технологического процесса, мощность, ток и напряжение нагрева, а также давление в гидросистеме прессы. Стратегический уровень решает задачу расчета прогноза программы управлений температурой и давлением в рабочей зоне и задачу оценки технического состояния технологического оборудования. Поскольку основные исходные данные, характеризующие результаты предыдущего техпроцесса, оцениваются и передаются в систему оператором в виде лингвистических представлений, то технология поиска управлений должна строиться на основе интеллектуальных технологий реализации процедуры динамического программирования. Пример интеллектуальной технологии поиска прогноза управлений для технологического процесса синтеза алмазов рассмотрен в [5].

Исходя из сказанного, структуру автоматизированной системы управления производством ССМ можно представить, как показано на рис. 1, в которой и стратегический, и тактический уровни системы управления реализуются на основе технологий интеллектуальных систем управления, современная теория которых предлагает целый ряд информационных технологий для решения задач управления в условиях неопределенности: это экспертные системы управления, системы управления на основе лингвистических «нечетких» моделей, нейросетевые системы управления, системы управления на основе ассоциативной памяти [6].

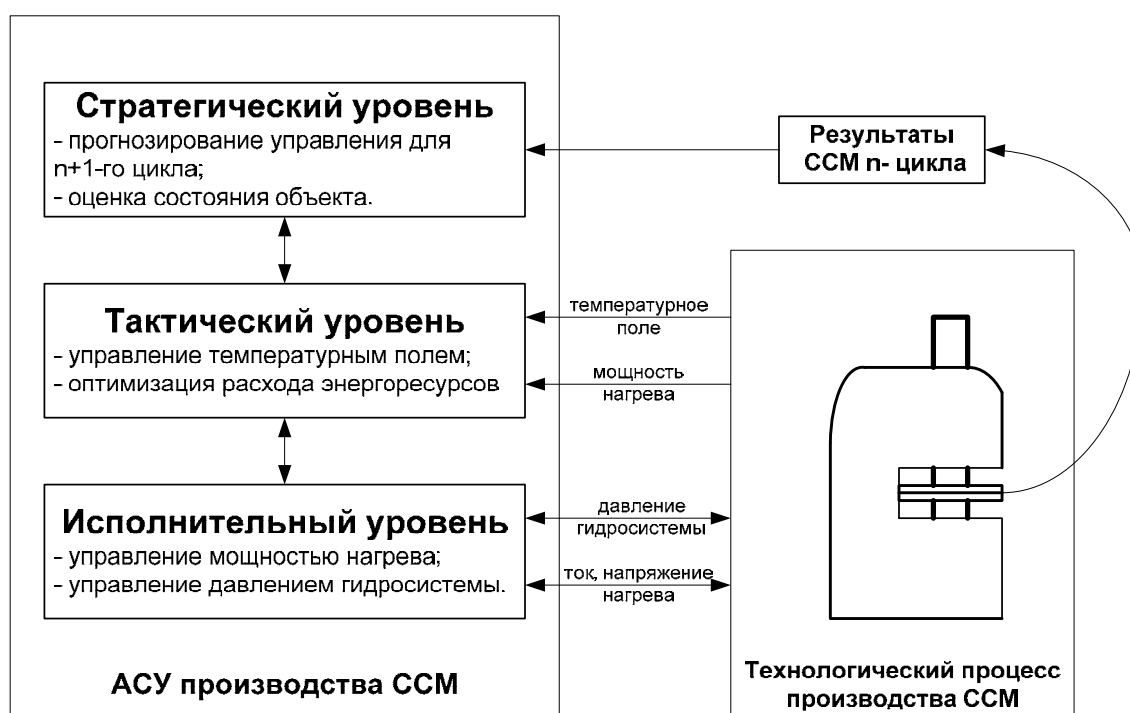


Рис. 1. Структура автоматизированной системы управления.

Основой всех этих технологий является база знаний об управляемом объекте – в данном случае технологическом процессе производства ССМ.

Экспертные системы это, по существу, дискретные системы с разной степенью дискретизации, содержащие знания (базу знаний) в виде высказываний типа «ЕСЛИ ... ТО».

Лингвистические знания на основе «нечетких» множеств также содержат знания в виде высказываний типа «ЕСЛИ ... ТО», но позволяют вычислять любые промежуточные значения знания.

Знания в нейросетевой системе распределены в неявном виде по коэффициентам элементов нейросетевой структуры, настраиваемым путем обучения на множестве данных. Система позволяет находить любые знания в рамках обучаемой выборки.

Знания в системах ассоциативной памяти представлены в дискретном виде и могут очень быстро быть получены по некоторым достаточно отрывочным исходным данным – ассоциациям. Система обладает высоким быстродействием в быстроизменяющихся ситуациях.

Исходя из этой весьма краткой характеристики, наиболее предпочтительным для построения автоматизированной системы управления производством ССМ является использование на стратегическом уровне технологии с лингвистическими знаниями на основе «нечетких» мно-

жеств, база знаний которых содержит знания о ходе технологического процесса и его параметрах, полученных из справочных материалов, от технологов-разработчиков и квалифицированных операторов, а на тактическом уровне – из технологий нейросетевых систем управления.

### **Выводы**

Современное состояние теоретической базы, изученность технологических процессов и накопленный опыт производства ССМ совместно с современными информационными технологиями интеллектуальных систем управления позволяют реализовать АСУ производства ССМ в полном объеме, значительно уменьшить интеллектуальную нагрузку на оператора и уберечь его от возможных ошибок. Пока единой проблемой есть отсутствие системы оперативной оценки полученных результатов в конкретном технологическом цикле, хотя создание такого устройства не вызывает особых технических проблем. Такое устройство может быть реализовано, например, как распознающее устройство на основе системы технического зрения [7].

### **Литература**

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. Монография в 6-и т. / Под общ. ред. Н. В. Новикова. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2003.
2. Краснопрошина А. А., Скаржепа В. А. Кравец П. И. Электроника и микросхемотехника. Ч. 2. Электронные устройства промышленной автоматики: Учебник / Под общ. ред. А. А. Краснопрошиной. – К.: Вища школа, 1989. – 301 с.
3. Кравец П. И. Математические модели теплообменных процессов в аппаратах высокого давления. // Сверхтв. материалы. – 1997. – № 2, –С. 13–22; – № 4. – С. 24–32; – № 5, С. 12–21.
4. Современная прикладная теория управления: Новые классы регуляторов технических систем. Ч. 3. / Под ред. А. А. Колесникова. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 656 с.
5. Кравец П. И. Интеллектуальные модели и нечеткие алгоритмы и их применение для оптимизации процессов синтеза сверхтвердых материалов // Сверхтв. материалы. – 2001. – № 3. – С. 15–24; № 4. – С. 29–38.
6. Интеллектуальные системы автоматического управления / Под ред. И. М. Макарова, В. М. Лохина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 576 с.
7. Писаревский А. Н., Чернявский А. Ф. и др. Системы технического зрения / Под общ. ред. А. Н. Писаревского. –Л.: Машиностроение, 1988. – 424 с.

*Поступила 10.07.07.*