



*Methodological aspects of improvement and development of hardware for technological control are viewed.*

*Е. И. МАРУКОВИЧ, ИТМ НАН Беларуси,  
А. П. МАРКОВ, ГУ ВПО БРУ,  
В. В. КОННОВ, А. А. КЕТКОВИЧ, ЗАО НПЦ «Молния»*

УДК 620.179:681.7.068

## МЕТОДОЛОГИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Методология контроля как система научного познания применительно к задачам литейного производства при общих принципах и логической организации имеет некоторые специфические отличия в структуре, методах и средствах совершенствования контрольно-измерительных операций. Литейное производство как производственно-технологический процесс представляет многопараметровую структуру с многоуровневым распределением физико-технических воздействий на различных этапах литья и формообразования [1].

В структуре технологических воздействий и взаимодействий при дозировании, приготовлении жидкого металла, формовочных и стержневых смесей, теплофизической обработке и выполнении других разнообразных операций наряду с прямыми и обратными связями управления процессами литья существенную роль играют пространственно-временные взаимосвязи между случайными технологическими отклонениями и качеством производимых отливок. При этом стратегической задачей единого комплекса литья является не только обеспечение выпуска годных изделий в установленные сроки, в заданных объемах и в заданной номенклатуре, но и упреждение их качества при заданных финансово-энергетических параметрах и нормативном материально-техническом обеспечении.

Совершенствование техники и технологий, усложнение конструкций и снижение массогабаритных параметров, разнообразие сырья и материалов усложняют задачи моделирования, структурно алгоритмического анализа и синтеза всех стадий литейного производства. В такой специфике производственного процесса определяющее значение имеет управление формированием уровня и разбросом параметров качества литых изделий. И здесь особую значимость приобретают системные факторы управления качеством и выявления их корреляционных зависимостей с ка-

чеством отливок и форм на всех этапах производственного процесса.

Для конструктивной контролеспособности объекта предусматриваются некоторые специальные элементы (смотровые окна, смотровые лючки, габаритные, экстремальные указатели и т. д.) или технологическая оснастка. Такие конструктивные дополнения способствуют более рациональной адаптации аппаратных средств к реальным изделиям и условиям эксплуатации.

Аппаратное обеспечение при создании новой техники и оборудования максимально учитывает современный уровень развития как в самой отрасли, так и в смежных областях. Но для существующих производств совершенствование контрольно-измерительной техники носит приспособительный характер. Механический перенос достижений из других отраслей не обеспечивает требуемой технико-экономической эффективности технологического контроля литейного производства.

В совершенствовании отдельных стадий и всего производства наряду с менее затратными процессами параметровой и пооперационной коррекции, стабилизации, регулирования и управления реализуются и более затратные автоматизированные и информационно-измерительные системы и комплексы пооперационного контроля. Применимость комплексной автоматизации определяется технико-экономической эффективностью и рядом других показателей производства и в большинстве своем определяется при проектировании и создании новых участков, цехов и автоматизированных линий.

Модернизация и реконструкция ряда производств с поэтапным переходом на более совершенные технологии и оборудование представляет особую проблему адаптации аппаратного обеспечения в многопараметровом и многоуровневом случайном распределении текущих состояний и

свойств. Более общим случаем является реальная параметрическая оценка энерготехнического воздействия на каждой стадии информационно-физических преобразований [2].

Для реального производственного процесса выполнение тех или иных операций в большинстве случаев не сопровождается созданием некоторых специфических полей. В таком пассивном режиме функционирования технологическая проявляемость случайных отклонений от установленных норм ограничивает информационную выявляемость их именно в момент возникновения этих отклонений. Низкий информативный уровень или вообще отсутствие информации из-за слабых физических полей и случайное пространственно-временное распределение источников первичной информации создают дополнительные сложности по локализованному возбуждению и селективной ориентации источников и приемников отраженной неоднородностью энергии. Целевая направленная пространственно распределенная энергия и локализация информативных источников повышают эффективность информационно-физических воздействий и преобразований для всей совокупности технологических и информационных операций.

В многофакторной взаимозависимости и взаимообусловленности между структурной организацией энергофизических и информационно-технологических преобразований проявляется все многообразие задач совершенствования существующего литейного производства. При этом стратегия и тактика управления строятся на определенной пространственно-временной зависимости стадий производственного процесса и сопровождающих их информационных операций, а именно:

- формирование цели, задачи и критерия;
- систематизация требований и условий;
- формализация, выбор структуры, схем и параметров;
- анализ вариантов в соответствии с предъявляемыми требованиями и физической реализуемостью;
- выбор оптимального алгоритма с учетом принятого критерия.

Для приборостроения, станкостроения и других отраслей машиностроительного комплекса свыше половины изделий составляют изделия литейного производства с различными массогабаритными и конструктивными особенностями. Безаварийная эксплуатация машин и механизмов, деталей и узлов, инженерно-технических комплексов, объектов транспорта, энергетики, авиационной и космической промышленности и других отраслей деятельности людей связана с конструкторско-технологическими мероприятиями по обеспечению качества и надежности. В единых программах обеспечения качества и надежности особое внимание уделяется анализу и своевремен-

ному выявлению источников и причин, обуславливающих появление дефектов и отказов.

Установить существующие разнообразные и многофакторные причинно-следственные связи в процессе создания и испытаний нового изделия весьма сложно и проблематично. В то же время ряд причин, не поддающихся прогнозированию в условиях эксплуатации, приводит к различным критическим и аварийным ситуациям, гибели людей и значительным потерям материально-технических средств. Статистические методы создают возможность корректировки конструкторско-технологической документации, но существенно увеличивают сроки испытаний, опытной эксплуатации и серийного освоения новых изделий, материалов и технологий.

С усложнением изделий и ужесточением требований к их массогабаритным параметрам и энерготехнологическим режимам все большее значение приобретают конструктивная, методическая и аппаратная контролеспособность литейного производства. С усложнением конструкций возрастают функциональная значимость отдельных элементов, блоков и технологической оснастки, а также расходы на ликвидацию последствий эксплуатационных отказов и дефектов. В этом отношении прогнозирование и раннее выявление технологических отклонений существенно повышают эксплуатационную эффективность и надежность особенно сложного и ответственного литья [3–5].

На разных стадиях производства всякое физико-техническое воздействие на объект адекватно отражается в сопутствующем ему информационном процессе (рис. 1). В общей структуре физико-технических свойств технологическая сторона отражает материальную сущность первичных сообщений. Информационная сторона отображает количественные и качественные особенности взаимодействия стимулирующих воздействий и объекта, т.е. если в технологических параметрах объект проявляет свою реакцию на энерготехнологические воздействия (механические, теплофизические и др.), то в информационных параметрах формализуется процесс абстрагирования физических величин в информационно-физические сигналы.

В литейном производственно-технологическом процессе для формализованного описания количественных и качественных характеристик, определяемых в виде параметров, из всей совокупности операций (этапов) или изделий обособливается определенная часть (отдельная операция, их группа и т.д.), обладающая некоторыми внутренними признаками, которые позволяют выделить их в качестве формально обособленных объектов. В таком формализованном представлении материализованных состояний и свойств в виде абстрактной модели учитываются внешние взаимодей-



Рис. 1. Структура технологического контроля

ствия с другими операциями или элементами и внешней средой.

В общем виде производственно-технологические объекты являются изменяющимися как во времени, так и в пространстве. Пространственно-временная изменчивость состояний и свойств позволяет оперативно оценивать реакцию объекта на определенное энерготехническое воздействие и выявлять особенности выполнения технологической операции. Они в свою очередь отличаются особенностями исходных материалов, технологического оборудования и режимами его работы. Соответственно и модели объектов могут быть сосредоточенными и распределенными, детерминированными и вероятностными, непрерывными и дискретными.

Моделирование объектов в большинстве случаев связано с выявлением противоречий между формируемыми требованиями к ним и ограниченностью априорной информации о текущем функционировании их, особенно в динамике.

В основном для любого объекта выделяются признаки, поддающиеся точному расчету (детерминированные), описываемые некоторыми случайными закономерностями (стохастические) и не поддающиеся математическому описанию (чисто случайные).

Особую сложность при формализованном описании объектов контроля представляет качественный учет характера внутренних взаимозависимостей между абстрактно обособленными операция-

ми. Любой объект даже со средним уровнем конструктивно-технологической сложности отличается стохастической структурой, что ограничивает возможности получения конкретных функциональных зависимостей между выходами и операционными воздействиями. Это особенно важно для случайных внешних воздействий (возмущений) и помех.

Однако формализованное разграничение отдельных операций с четко поставленными задачами технологического контроля позволяет для отдельного объекта использовать свой математический аппарат и конкретизировать многопараметровые функциональные зависимости с учетом ограничений, учитывающих всю совокупность выходных и входных переменных, определяемых структурой технологического процесса.

В структуре технологического контроля разнообразное проявление состояний и свойств объектов и их параметрических зависимостей позволяет условно группировать объекты в виде:

- объекты определены с заранее установленными свойствами и параметрами; известны диапазоны изменений параметров и нормы на их значения;
- объекты определены, но пространственно-временные значения параметров и их отклонения случайны; состав контролируемых параметров и технологические нормативы заданы, однако их нахождение в пределах пространственно-временной области существования характеристик объекта также случайно;

- объекты неопределенные и в этом случае проводится спектрально-энергетическое воздействие, выявление и обнаружение источников информации с ранее неизвестными свойствами, которые в лучшем случае могут быть только предсказаны; характерные признаки таких источников не определены, пространственно-временные области существования их свойств и диапазоны изменения параметров также неизвестны.

Методология совершенствования технологического контроля строится на системном объединении всего комплекса физических действий и взаимосвязей и всестороннем учете характерных пространственно-временных особенностей. Среди них определяющими являются конструктивные, технологические, метрологические, информационные и аппаратные (рис. 2).

Конструктивные учитывают специфику масштабов особенностей объединения и сопряжения геометрических элементов изделия. В технологических проявляются особенности управляемых и неуправляемых энерго-механических воздействий для придания изделию требуемого фун-

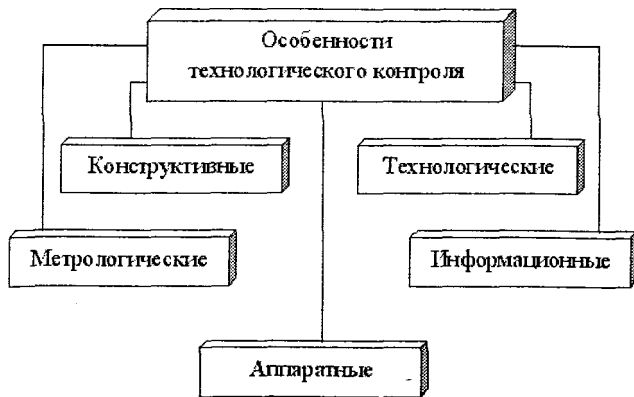


Рис. 2. Структурно-функциональная специфика технологического контроля

функционального предназначения с заданными свойствами и параметрами.

Метрологические особенности обуславливают конкретные количественные и качественные показатели и нормируемые параметры по каждой операции, каждому элементу и изделию. В информационных отражается специфика физико-технических и информационно-физических взаимодействий процессов материально-энергетических и информационных преобразований на всех стадиях производственного процесса.

Применительно к специфике объектов и технологий аппаратные особенности представляются в структурно-алгоритмической адаптации к конструкции, физическим величинам, элементной базе и окружающей среде, т.е. аппаратное обеспечение должно нужным образом подстраиваться под весь комплекс перечисленных выше особенностей. В этом отношении методы и средства должны максимально адаптироваться как к конструкторско-технологическим и информационно-метрологическим требованиям, так и к условиям эксплуатации.

Научно-технический прогресс станкостроения и отраслей машиностроительного комплекса характеризуется резким усложнением технических систем и технологий. Растущие масштабы и расширяющаяся номенклатура новейших изделий сопровождается постоянным обновлением и усложнением конструкций и снижением массогабаритных параметров. Повышенные требования к качеству и надежности, разнообразие физических величин и геометрических форм сопрягаемых поверхностей, распространение измерений на теплофизические процессы, сложно-профильные и сложно-контурные и многоканальные крупногабаритные и протяженные конструкции обуславливают и соответствующие технологии контроля и аппаратно-метрологическое обеспечение.

В общем объеме изделий металлургического, транспортного и других машиностроительных производств более половины составляют длинномерные, сложно-контурные и многоэлементные

корпусные изделия. В металлообрабатывающих отраслях доля таких изделий еще больше. При этом в их конструкции выделяются некоторые общеупотребляемые элементы и их сопряжения с соответствующими типовыми для них параметрами:

- разноуровневое расположение каналов и элементов;
- расстояния от точки до точки и от линии до линии;
- расстояние от линии до воображаемой точки или линии (оси);
- расстояние между наружными и внутренними поверхностями;
- продольный и поперечный профиль;
- диаметры и форма отверстий, параллельность осей;
- соосность отверстий и угольность осей;
- геометрия рельефа, сечений и формы поверхностей;
- состояние наружной и внутренней поверхности (сплошность, чистота поверхности, твердость и др.).

При всем разнообразии размеров и элементов, геометрических форм и номенклатуры изделий их конструктивные особенности схемно определены и нормированы, т.е. в некоторой мере они детерминированы. Основными причинами отклонений эксплуатируемых литых изделий являются зоны концентрации напряжений и сопряжений элементов геометрии, в которых более интенсивно протекают деградиационные процессы (коррозия, пластические деформации, нарушения сплошности, экстремальный выход из поля допуска и т.д.) [6, 7].

Технологией задаются необходимые режимы, оборудование и параметры производственного процесса, обеспечивающие получение требуемой продукции при заданных материально-энергетических затратах. Для технологического процесса характерно определенное сосредоточение распределенных во времени и пространстве физико-технических воздействий (операций). Физическая сторона отражает особенности и физическую сущность происходящих с материальным объектом изменений. Эксплуатационная надежность отдельной детали, узла и всего изделия определяется уровнем технологической проработки и совершенством производства.

Для литейного производства характерно большое многообразие параметров, в которых отражаются физико-технические взаимодействия и специфические закономерности происходящих технологических преобразований. При этом путем отражения как материально-энергетического взаимодействия одной материальной системы на другую устанавливается определенное соответствие между свойствами объекта и отображаемыми им технологическими особенностями. Такое согласованное взаимодействие позволяет эффективно

реализовывать различные и информационно-технологические преобразования. При всем их разнообразии и случайном пространственном распределении как в изделии, так и в самом производственном процессе характерные особенности (признаки) имеют некоторую технологическую обусловленность. Такие морфологические признаки позволяют объединять отдельные технологические отклонения (потенциальные дефекты) в некоторые специализированные группы и виды [3].

Для технологического контроля определенное значение имеет нормируемость характеристик. Ими устанавливаются конкретные количественные показатели технологического контроля, методы их оценки на всех этапах разработки, литейного производства, эксплуатации изделий и контрольно-измерительных средств. Задачи метрологического обеспечения отличаются особой ответственностью и трудоемкостью, комфортностью и эргономикой. Метрологическое обеспечение связано не только с реализацией нормативно-технологических установок (требований), но и с производством конкурентоспособного изделия с заданными потребительскими свойствами.

Наряду с систематизацией функционально-метрологических обоснований уже на этапах проектирования конструкций отливок ведется поиск и конструирование контрольно-измерительных средств, где выделяются задачи метрологического анализа одноблочных модулей по имеющимся принципиальным и конструктивным разработкам. При этом параметрический анализ решает задачи оптимизации параметров отдельных частей и всей совокупности по выбранным критериям как по отдельным метрологическим характеристикам, так и по другим граничным условиям оптимизации.

Если метрологический анализ, включающий расчет метрологических характеристик отдельных цепей, элементов, модулей и блоков, связан с функционально-преобразовательными параметрами, то метрологический синтез (поэлементное обеспечение заданных метрологических характеристик и других показателей качества) предохраняет создание высокоэффективных контрольно-измерительных средств. В метрологическом обеспечении особое значение имеет выбор методов и средств для макетных проверок и апробации на моделях, лабораторных и промышленных (в цеховых и полевых условиях эксплуатации) испытаний и сертификации.

Количественные и качественные характеристики технологического процесса отражают реальную сущность материально-энергетических изменений в системном объединении источников энергии, исходных материалов, технологического оборудования и технологий. В реальных условиях выявляются противоречия между формируемыми требованиями к операциям и режимам и ограниченностью априорной информации об их выпол-

нении. В большинстве случаев параметры контроля определены конструкторско-технологическими нормативами, результатами испытаний опытных образцов и установочной партии и ресурсом эксплуатации.

Технологическая информация на всех стадиях производственного процесса проявляется множеством источников с различным спектрально-энергетическим уровнем. При этом информационно-преобразовательные операции проводятся декомпозиционно: селективно и с учетом физической природы информативных сообщений на первичном уровне; формализовано на уровне обобщенных параметров отдельных операций и их совокупности с переходом к оценке всего объекта. В системном многоуровневом объединении и распределении информации технологический контроль объединяет ряд первичных операций с определенной последовательностью и направленностью выполняемых функций с учетом цели, внешних и внутренних связей между задачами и производственным процессом.

Для информативного проявления отклонений и неоднородностей контролируемого объекта в заданную зону (область, участок) направляется некоторое селективно-ориентированное спектрально-энергетическое воздействие. Так как носителем информации является энергия, то на возбуждение первичной информации и ее преобразование затрачивается некоторая часть энергии. Соотношение между величиной энергии информативного сообщения и переносимой им информацией определяется характером первичных преобразований и технических средств. В структурно-алгоритмической реализации информационно-преобразовательного процесса на носитель информации каждый функциональный элемент в виду своей инерционности оказывает некоторое воздействие, уменьшающее содержащуюся в нем информацию. И от соотношения энергии носителя и уровня дестабилизирующих воздействий (помех, шумов) зависит количество передаваемой сигналом информации.

В технологической информации проявляются характерные для объекта физические процессы, которые на первичном уровне представляются в виде определенных значений разнородных величин или физических параметров. Однако если физические параметры и их зависимости определены нормативно-техническими условиями и технологическими режимами, то случайное пространственно-временное распределение системных факторов, их обусловленность и статистические связи с отдельными условно обособленными параметрами и критериями требуют оперативной информации о возникновении некоторых аномальных отклонений. При этом необходим учет специфических для многоименных производств системно-технологических факторов: регу-

лировка и переналадка аппаратуры и оборудования, режимы литья и охлаждения, техника и технологии удаления отливок из форм, транспортировка изделий, условия хранения и др.

Для гарантированного проявления носителя первичной информации локализуются (обособливается, каналируется) более информативная часть информационного поля, его параметр или их совокупность, отражающая характерные отличия отклонений или неоднородностей и соответствующий им физический контраст, т.е. на первичном уровне технологические отклонения отображаются адекватной контрастностью — информационной. Формализовано она находит выражение в таких параметрах, как интенсивность, спектр, мощность излучения на единичный спектр и других физических величинах. Именно в информационно-физическом взаимодействии излучений с материальным объектом и средой генерируется информационное отображение их физико-технических состояний и свойств. В таком подходе информативное излучение, материальная среда и приемник излучения являются важнейшими элементами структурной цепи преобразований. И для взаимосогласованных действий локализованная информация приводится к соответствующему виду и параметрам, доступным для каждого элемента параметрической цепи и канала связи. При этом особое значение приобретают помехозащищенность, быстродействие, плотность информации, селективность, эффективность преобразований, передачи и программно-алгоритмической обработки (классификация, идентификация, документирование, хранение).

Структура и состав технических средств определяются задачами технологического контроля, характером технологического процесса и объединяют ряд общих функций:

- декомпозицию технологического контроля по отдельным этапам;
- формирование контраста и проявление неоднородности;
- выявление и селективное восприятие контраста с последующей локализацией;
- каналирование информативного излучения и его дистанцирование;
- количественная и качественная оценка информативного отображения неоднородности (отклонения);
- выбор критерия оптимальности и алгоритма контроля;
- формирование принципов, выбор эффективного метода и средств.

В таком структурно-алгоритмическом представлении в технологическом контроле как информационно-преобразовательном процессе четко разграничены следующие этапы: воздействие на объект и проявление контраста в зоне неоднородностей (аномалий); выявление, локализация и

селективный отбор источников информации; коммутация, направление и каналирование информативного излучения; преобразования, дистанцирование и прием; обработка информации в соответствии с программой, целью и критерием; идентификация, визуальное отображение для восприятия, документирование, анализ и принятие решения по управлению технологическим процессом (объектом).

Применительно к специфике объектов формируются структура и состав контрольно-измерительных средств. Для объектов с заранее определенными источниками первичной информации и их параметрами контрольно-измерительные средства ориентированы на установление степени пригодности параметров реального объекта к применению в заданных условиях. В простейшем случае это разбраковка на “годен” — “негоден”, “да” — “нет”, “брак исправимый” — “брак неисправимый” и т.д. Контрольно-измерительные средства отличаются конструктивной простотой, эксплуатационной надежностью и узкоспециализированным назначением, как, например, калибры.

Контрольно-измерительные средства для определенных объектов со случайными источниками информации позволяют определить области существования исследуемых свойств объекта и статистические зависимости контролируемых параметров при заданных диапазонах и нормах. Результаты таких исследований используются при диагностике и оценке контролеспособности. Наряду с узкоспециализированным предназначением такие средства должны обеспечивать широкий динамический диапазон, высокую точность и достоверность. Имея ограниченный объем первичной информации для таких средств, характерно и наличие функциональной обработки в реальном времени, анализ, хранение, регистрация и документирование результатов.

Контрольно-измерительные средства для неопределенных объектов должны обладать большой информационной емкостью, быстродействием и эксплуатационной надежностью в условиях функционирования объекта (окружающая среда). Для таких средств предъявляются повышенные требования к точности по каждому параметру в большом диапазоне их измерений, в том числе и в динамике. Так как имеют место уникальные объекты и цели исследований, то к средствам контроля не ставятся особые условия по производительности и технико-экономической эффективности. Однако при решении задач отображения информации о функциональных зависимостях между параметрами и свойствами объекта накладываются жесткие ограничения на информационно-метрологические и динамические характеристики таких средств. Но в большинстве случаев такие средства являются многоцелевыми и многоотраслевыми.

Физико-технические зависимости проявления количественных и качественных характеристик технологических отклонений в технологической информации составляют основу первичных преобразований (рис. 2). Любое формализованное представление преобразовательного процесса с определенной достоверностью (приближенно) изображает реальный физико-технический процесс. В математической модели с допустимой корректностью учитывается все множество различных, в том числе и дестабилизирующих факторов. Их особенность проявляется в том, что любой параметр в реальной цепи преобразований будет отличаться от его значения, предсказанного моделью. Снижение влияния различных помех (шум, влияние среды и т.д.) конструкторско-технологическим путем, связанное с созданием системы преобразований с наименьшими искажениями результатов, весьма трудоемко и требует больших материально-технических затрат.

В общем случае технологическая информация проявляется в некоторых аномальных отклонениях или неоднородностях. С их появлением формируется источник первичной информации, в котором проявляются физические свойства зарождающихся "ненормальностей". Однако физико-техническая проявляемость дестабилизирующих воздействий должна обеспечиваться своевременной выявляемостью средствами технологического контроля. В совокупности технологической проявляемости потенциальных дефектов и их информационно-физической выявляемости отражается значимость и потребительские свойства технологической информации.

Абстрагирование и дистанцирование первичной информации о реальном состоянии объекта технологического контроля с формализованным отображением у получателя проходит цепь взаимосвязанных параметрических преобразований. И при наличии зависимостей некоторых сигналов и пространственно-временных параметров элемента (информационного поля) информационно-математическая задача преобразований сводится к задаче редукции информационной системы. Применительно к технологическому контролю редукция предполагает возвращение, приведение обратно изображения объекта как бы к его идеальному (реальному) виду, т.е. задача редукции текущего состояния к оптимальному виду в некотором смысле предполагает восстановление истинного отображения объекта идеальной неискажающей системой по ее формализованному изображению.

В свою очередь формализованное описание преобразовательного процесса с некоторым искажением изображает реальный технологический процесс с его конкретными физико-техническими особенностями. И математическая модель преобразования с определенной погрешностью долж-

на учитывать все множество разносторонних, в том числе второстепенных, дестабилизирующих воздействий. Их проявление сказывается и в том, что отдельная физическая величина в многопараметровой зависимости реального преобразовательного процесса будет отличаться от значения любого параметра, предсказанного моделью. Снижение влияния таких помех (отклонений, погрешностей) конструкторско-технологическим путем при создании системы преобразований с наименьшими искажениями результатов весьма трудоемко и требует больших материально-технических затрат.

В то же время методами редукции задача минимизации влияния случайных помех решается более эффективно. Для реальных условий математическая модель оптимальной системы преобразований предполагает структуру такой системы, которая обеспечивала бы эффективную связь между входами и выходами на каждой технологической операции с получением наилучших результатов при решении задач редукции с использованием микропроцессоров. При системном рассмотрении такой задачи должны учитываться современные возможности технической реализации и математического аппарата. В системе моделирования, создании алгоритмов решения задач редукции, планировании эксперимента и испытаний определяющей особенностью является условие, чтобы математическая модель поддавалась исследованию с помощью методов и средств современной математики.

Современный уровень микропроцессорной и информационно-преобразовательной техники, оптоэлектроники и схмотехники, лазерной и волоконной оптики, техники и технологий неразрушающего контроля позволяет эффективно решать комбинаторные задачи дефектоскопии и технологического контроля литейного производства. При высоких информационно-метрологических возможностях акустических и электромагнитных, тепловых и капиллярных, радиационных, ультразвуковых и других методов и средств неразрушающего контроля комбинированное физико-оптическое преобразование и световодное дистанцирование повышают технологическую проявляемость, эксплуатационную надежность и помехозащищенность при системной совместности различных по своей физической природе функциональных элементов и устройств. Используя различные стратегии, технологии поиска и осмотра информативных пространств, комбинированные методы обеспечивают перспективу высокопроизводительного и гарантированного технологического контроля.

Структурно-алгоритмические преимущества комбинированных методов в сочетании с новейшими методиками формализации, моделирования и программной обработки уже на первичном

уровне создают научно-техническую базу высокоэффективного контроля и сокращают сроки новых разработок аппаратных средств. И здесь особую значимость приобретают новейшие методы многопараметрового многорежимного поиска с переключением траекторий, методы рационального, а иногда и оптимального просмотра при выявлении, сборе, передаче и обработке технологической информации [8].

### Литература

1. Марукович Е.И., Марков А.П., Горбунов Д.А. Некоторые направления совершенствования технологического контроля в литейном производстве оптоволоконными средствами // Литье и металлургия. 2006. № 2. Ч.2. С. 107–111.
2. Марукович Е.И., Марков А.П., Гоголинский В.Ф. и др. Визуально-измерительная техника и техно-

логии размерного контроля в литейном производстве // Литье и металлургия. 2007. №2. С. 137–143.

3. Марукович Е.И., Марков А.П., Шварц Е.Г. и др. Оптический контроль внутренних полостей литых изделий // Литье и металлургия. 2005. №4. С. 101–105.

4. Неразрушающий контроль. В 5-ти кн. Кн. 4: Контроль излучениями / Е.Н. Епифанцев, Е.А. Гусев, В.И. Матвеев, Ф.Р. Соснин; Под ред. В.В. Сухорукова. М.: Высш. шк., 1992.

5. Соснин Ф.Р. Неразрушающий контроль: Справ. в 7-ми т. Т.1: В 2-х кн.: Кн.1. Визуальный измерительный контроль. М.: Машиностроение, 2003.

6. Баев А.Р., Коновалов Г.Е., Майоров А.Л. и др. Методы выявления несплошностей и контроль структуры чугунов с использованием объемных и головных волн // Литье и металлургия. 2004. №4. С. 95–100.

7. Ультразвуковой и рентгеновский контроль отливок / Е.А. Гусев, А.Е. Карпельсон, В.П. Потапов и др. М.: Машиностроение, 1990.

8. Визуально-оптическая дефектоскопия и размерный контроль в литейном производстве / Под общ. ред. Е.И. Маруковича. Мн.: Белорусская наука, 2007.