

ПОВЫШЕНИЕ ГИБКОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОДСИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НАКОПЛЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Рябчиков М. Ю.¹

(ФГБОУ ВО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск)

Для современных условий характерен нестабильный спрос на продукцию технологических производств различного уровня и назначения. Для повышения гибкости производства необходимо согласование целей на различных уровнях интегрированной системы, где управление может осуществляться в различном временном масштабе. В работе предложен подход к организации гибкого управления производством, предполагающий обеспечение вариативности подсистем управления с позиции гибкости всего производства в целом. Допущена возможность постепенного эволюционного характера перехода к вариативности подсистем управления на основе опыта персонала и накопленной технологической информации, что предполагает тестирование вариантов подсистем управления с применением моделей процесса и возмущений. Представляется, что при снижении интенсивности обновления обеспечения управления производством по отношению к темпам последних десятилетий и развитию технологических баз данных совершенствование систем при активном участии персонала будет одним из основных ресурсов дальнейшего роста эффективности и гибкости производства. Рассмотрены проблемы предварительного тестирования вариантов подсистем управления. Предложена последовательность этапов оценки вариантов подсистем управления, названная алгоритмической оптимизацией. Оценены перспективы использования существующих инструментов манипуляции программой технологических контроллеров фирмы Siemens на уровне диспетчерского управления с позиции их использования как платформы для создания интегрированной системы управления, допускающей вариативность подсистем управления.

Ключевые слова: гибкое производство, вариативность подсистем управления, тестирование алгоритмов управления, модели возмущений.

¹ Рябчиков Михаил Юрьевич, к.т.н., доцент (mr_mgn@mail.ru).

1. Введение

В настоящее время в условиях технологических производств разного уровня активно создаются интегрированные информационные системы. Однако, по мере накопления технологической информации все большую значимость приобретают проблемы последующего интеллектуального анализа полученных данных с целью их использования для повышения эффективности производства.

В работах [5, 13] отмечается необходимость снижения размерности решаемых задач управления при сохранении их общего смысла. Как правило, в условиях действующих производств задача снижения размерности уже выполнена на основе декомпозиции процесса на отдельные подсистемы, управление которыми в значительной степени автономно. Это приводит к возникновению многоуровневых иерархических систем, структурированных по блочному принципу (рис. 1).

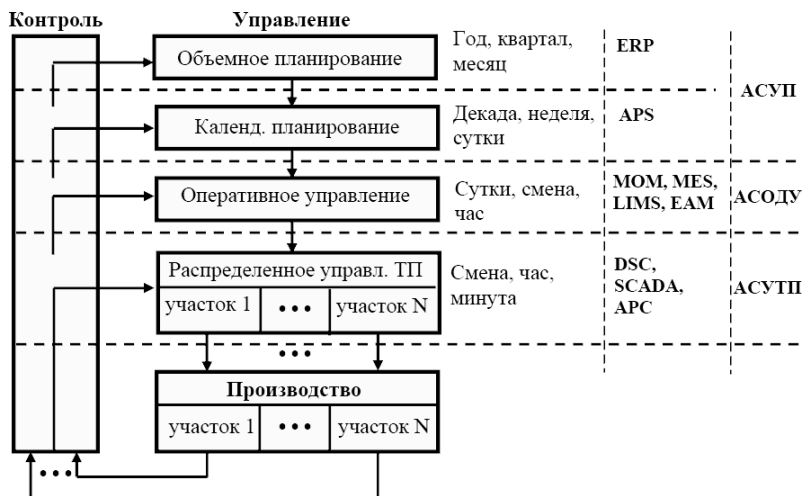


Рис. 1. Блок-схема многоуровневой иерархической системы управления производством [13]

Для реализации гибкого управления производством необходимо согласование целей на различных уровнях иерархии интегрированной системы. В то же время управление на различных уровнях иерархии осуществляется в различном временном масштабе. Это приводит к тому, что оперативное и распределенное управление может быть ориентировано на устаревшие планы, поскольку в условиях современной экономики ситуация может изменяться в течение суток. Ориентация локальных подсистем управления на повышение технико-экономических показателей производства является одной из ключевых проблем при интеграции АСУТП и АСУП [2].

В работе [13] предполагается, что на верхнем уровне решается задача оптимизации режима, а на нижнем – задача его стабилизации в окрестности переданных с верхнего уровня значений. Однако, из-за возмущений нижний уровень управления не всегда может точно выполнять установки верхнего уровня. Поскольку нарушения допусков ведут к экономическим потерям, то при формировании заданий на верхнем уровне управления необходимо учитывать действие возмущений путем создания соответствующих «страховых» запасов, то есть, отступая от опасных границ вглубь соответствующих допусков.

Рис. 2 показывает, что дополнительный эффект может быть получен, если весь ресурс системы стабилизации затратить на один из показателей качества, формирующих допуски. Для этого система верхнего уровня должна не только задать системе нижнего уровня оптимальный режим, но и сформировать для нее критерий автоматической оптимизации отработки возмущений или определить логическую программу управления [13]. Последнее предполагает решение задачи самоорганизации системы управления.

Подход, представленный на рис. 2, предполагает экономические потери при нарушении допусков, но не устанавливает взаимосвязь качественных показателей с производительностью, затратами или иными комплексными оценками технико-экономической эффективности. Причиной является отсутствие учета плотности распределения в области рассеяния режимов. Подход, основанный на областях допуска, не ориентирован на

гибкое управление качеством. Если задача гибкого управления качеством не решается, то подсистемы локального управления проектируются для отработки возмущений в пределах, определенных зоной допуска. Будем считать такую декомпозицию процесса на подсистемы естественной.

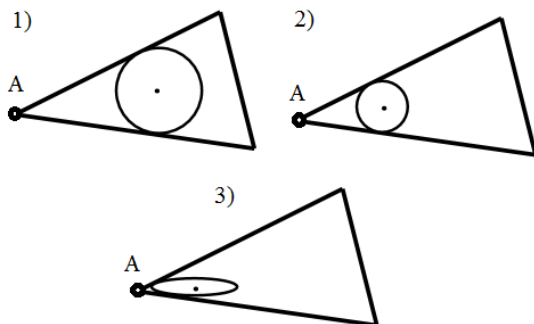


Рис. 2. эффект перераспределения ресурсов системы стабилизации [13]: 1-3 – соответственно большее, меньшее и неравномерное влияние возмущений на область рассеяния режимов

Если рассматривать качество процесса как одну из множества непрерывных оценок эффективности, то влияние автоматического управления на эффективность можно оценить в пространстве непрерывных оценок. Например, в [9] предложена непрерывная оценка комплексного качества процесса обработки стали в агрегате печь-ковш, определяемая как геометрическое среднее оценок приемлемости множества из тринадцати показателей, характеризующих качество продукта (стали) и режимы эксплуатации оборудования. На рис. 3 приведены примеры границы Парето обобщенных оценок затрат и качества, а также зависимости максимально достижимого обобщенного качества от продолжительности процесса при фиксированном уровне обобщенных затрат.

При гибком управлении нужны программы, способные учесть экономические факторы. При этом вариации одних только параметров локального управления при сохранении есте-

ственной декомпозиции процесса может оказаться недостаточно для обеспечения значимой вариации соотношения между показателями оценки эффективности без существенного отклонения от границ Парето. Эта проблема представлена на рис. 4,а. Граница Парето представлена, исходя из предположения о вариации алгоритмов управления.

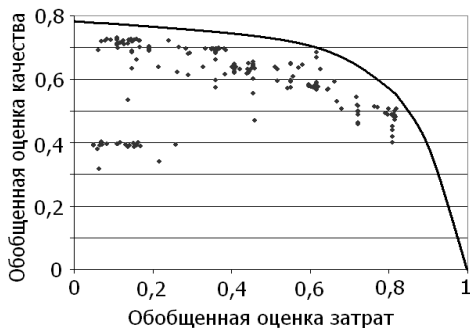


Рис. 3. Парето граница обобщенных оценок затрат и качества при длительности процесса в агрегате печь-ковши 46 мин [9]

Различие алгоритмов локального управления с позиции обеспечиваемых соотношений между показателями оценки эффективности может быть обусловлено как различной логикой работы, так и различием привлекаемой к управлению информации. Различие привлекаемой к управлению информации может приводить к различным вариантам декомпозиции процесса на подсистемы.

Способность системы автоматически выбирать алгоритм управления из множества доступных алгоритмов управления, оперирующих различной информацией о ходе технологического процесса, назовем статичной самоорганизацией. На рис. 4,б представлена цель статичной самоорганизации как рост эффективности и вариативности процесса.

Известны системные методы синтеза многорежимных подсистем, такие как: методы оптимизации структур иерархических систем, программно-целевого планирования и управления; при-

менения теоретико-игровых моделей управления [1, 3, 12]. Системные методы ориентированы на обеспечение гибкости производства сразу после запуска интегрированной системы управления производством в эксплуатацию и гарантию оптимальности режимов подсистем.

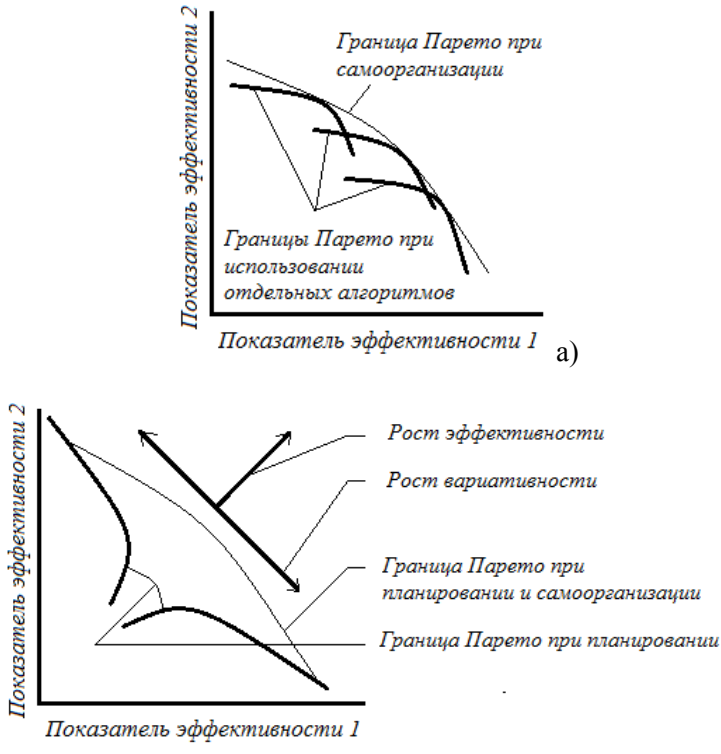


Рис. 4. Цель самоорганизации на уровне подсистем управления

В то же время в ходе технологического процесса, как правило, могут быть выделены воспроизводящиеся ситуации, затрагивающие ограниченное число технологических параметров. Различные множества таких ситуаций образуют частные интерпретации производственных процессов. Частной индивидуальной интерпретацией обладают операторы технологического процесса.

Например, решения проблемных ситуаций в сфере транспорта часто индивидуальны для различных транспортных узлов и видов транспорта, и могут быть представлены в виде множества ситуационных алгоритмов управления, предусматривающих коммуникацию с диспетчерами или системами управления других станций. Так, при управлении движением поезда «Сапсан» для каждой возможной конфликтной ситуации разработаны алгоритмы их разрешения, обеспечивающие либо ввод поезда «Сапсан» в график, либо минимальное отклонение от расписания. Алгоритмы предусматривают выдачу вариантных управляющих решений. Окончательный выбор варианта предоставляется поезвному диспетчеру [4].

Таким образом, вариация применяемых при автоматическом управлении частных интерпретаций производственных процессов позволяет воздействовать на соотношение между оценками технико-экономической эффективности.

Особенности эволюции интегрированных систем управления рассмотрены в работе [5]. Автором сформулированы отличительные черты существующих и прогнозируемых структур интегрированных систем. Предельным вариантом развития считается самоорганизующаяся система (рис. 5). В каждом относительно самостоятельном подразделении работает своя подсистема. Это полноценная подсистема (обозначена прямоугольником), имеющая свои базы данных и интерфейсы связи с прочими подсистемами, свой инструментарий и свои проблемно-ориентированные задачи, которые предполагают понижение размерности производственных данных в рамках поставленных задач управления и внешних требований [5]. Отличительной чертой такой системы следует считать влияние внешних требований на применяемый вариант понижения размерности производственных данных. То есть, в зависимости от требований, подсистема управления может использовать различную информацию о ходе процесса и разные наборы технологических параметров.

Можно предположить, что увеличение объема привлекаемой к локальному управлению информации потенциально способно привести к смещению и расширению охваченной реализуемыми режимами части границы Парето. В частности переход

с концепции MES-11 на Collaborative Manufacturing Execution System (с-MES) связан с тем, что при управлении процессными производствами и цепочками поставок надёжный обмен информацией между несколькими системами необходим чаще, чем обмен между несколькими уровнями одной системы, что дает возможность получить полную картину происходящего, необходимую для принятия решений [14].

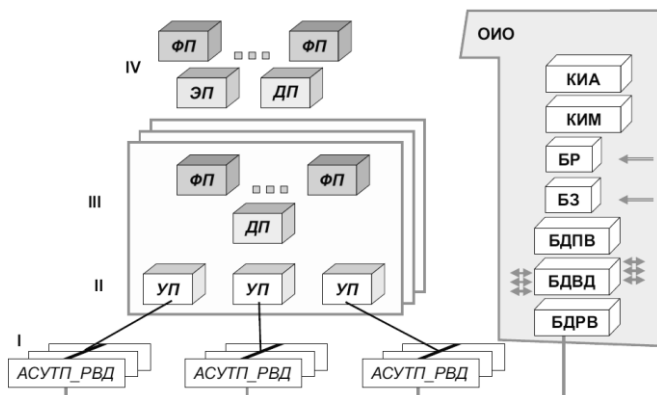


Рис. 5. Самоорганизующаяся интегрированная управляющая система (УП – участковые подсистемы; ФП, ДП, ЭП – соответственно функциональные, диспетчерские и экспертные подсистемы на уровне цехов и предприятия; ОИО – общая информационная область; БДРВ, БДПВ, БДВД, БЗ, БР – соответственно базы текущих данных, производственных данных, внешних витрин, знаний, регламентов; КИМ, КИА – комплексы имитационных моделей и средств администрирования; РВД – точки ввода информации) [5]

Для информации, которая потенциально может быть привлечена к управлению, можно предложить классификации. Например, информация может быть образована совокупностью контролируемых параметров с привлечением и без привлечения математического моделирования. Если задачу моделирования оператор решает сам на основе своего опыта и интуиции, то задействовать такие результаты в системе автоматического управ-

ления сложно. Для ряда технологических процессов множество причинно-следственных связей, составляющих суть такого процесса, может быть скрыто от оператора. Причиной может являться отсутствие возможности непрерывного и даже периодического контроля всех параметров, необходимых для формирования целостного представления о процессе, а также сложности выявления влияния отдельных управляющих воздействий на итоговые показатели процесса.

Степень информированности оператора может существенно влиять на эффективность процесса [6]. Интеграция в систему управления моделей с целью восстановления значений неконтролируемых, но важных для понимания сути процесса параметров, способствует комплексному восприятию состояния процесса и позволяет задействовать значения неконтролируемых параметров при управлении. Основой разработки способа интеграции в управление новой информации является наблюдаемая оператором воспроизводимость производственных процессов.

Информация может быть классифицирована как воспринимаемая и не воспринимаемая оператором. Динамика подсистемы управления может не восприниматься оператором. Например, при управлении электрическими параметрами оператор может наблюдать интегральный эффект отработки возмущений на разных стадиях. При управлении температурными параметрами процессы напротив, могут быть чрезмерно протяжённые во времени для восприятия. Оператору будет трудно оценить воспроизводимость процесса в рамках не поддающейся восприятию информации. Тогда для предварительной оценки интегрального эффекта способа применения новой информации при управлении нужны модели-симуляторы процесса, включающие в свой состав модели возмущений.

Необходимо отметить, что новая информация может не интерпретироваться. То есть новые контролируемые или неконтролируемые технологические параметры могут не привлекаться. При этом влияние новой информации на границу Парето происходит опосредованно через учет новых свойств и особенностей возмущений при применении нового алгоритма управления.

Проблема привлечения к автоматическому управлению новой информации многогранна и требует комплекса мер, к которым относится: обучение и стимулирование оператора; предоставление оперативной информации, выходящей за рамки минимально необходимой для функционирования подсистемы; применение систем управления, допускающих выбор оператором различных вариантов логической программы управления; помощь в формировании множества альтернативных программ управления.

Разработка систем управления, поддерживающих перечисленные функции, позволяет говорить о реализации самоорганизации эволюционного типа применительно к интегрированной системе управления, частью которой является персонал предприятия. Самоорганизация эволюционного типа предполагает генерацию новых алгоритмов управления. Приемлемость такого типа самоорганизации определяется сроком эксплуатации обеспечения интегрированной системы управления и самого агрегата или производства. Представляется, что при снижении интенсивности обновления обеспечения по отношению к темпам последних десятилетий и развитии технологических баз данных самоорганизация эволюционного типа будет одним из основных ресурсов дальнейшего роста эффективности и гибкости производственных систем.

2. Поиск границы Парето оценок эффективности процесса для нового алгоритма локального управления

Одной из основных функций самоорганизующейся системы управления является помощь в формировании альтернативных программ управления с целью расширения охваченной реализуемыми режимами границы Парето в пространстве оценок эффективности процесса. Помощь может заключаться в отбраковке алгоритмов управления, обеспечивающих оценки, не оптимальные по Парето, или дублирующих возможности уже известных алгоритмов с позиции вариативности технологического процесса.

Для отбраковки алгоритмов и условий их применения можно использовать модель процесса с учетом возмущений и локального управления (рис. 6). Модель используется для прогноза обобщенных оценок эффективности. Оценки эффективности могут определяться как для отдельных состояний процесса, так и для всего процесса в целом, что определяется заданными условиями применения алгоритма управления и принципиальной возможностью оценки эффективности выборочных множеств состояний технологического процесса. Согласно схеме, в отдельную категорию выделены алгоритмы автоматического распределения ресурсов, проектирование которых может не требовать моделирования процесса вследствие того, что воспроизводимость процесса при таких воздействиях наблюдается оператором.

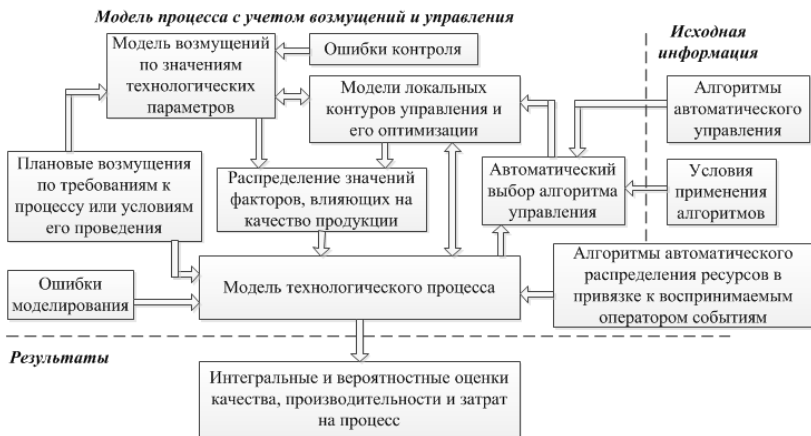


Рис. 6. Общая схема прогноза оценок эффективности процесса при использовании нового локального алгоритма автоматического управления

Для многих непрерывных технологических процессов, как правило, можно оценить эффективность работы индивидуально для наборов периодов времени, определяемых требованиями к процессу и условиям его проведения. Например, при непрерывном отжиге металла в протяжных печах можно выделить периоды со стабильными свойствами металла и периоды, когда

свойства металла изменяются. Для указанных периодов можно применять разные алгоритмы управления, эффективность которых может оцениваться индивидуально [7, 11]. Причиной этого является то, что алгоритмы управления учитывают множество параметров, позволяющее однозначно классифицировать начальное состояние технологического процесса перед запуском алгоритма управления в работу.

Если задействованное в алгоритме управления множество параметров не позволяет однозначно классифицировать начальное состояние процесса, то для получения результатов необходимы оценки вариации состояния процесса на момент, определяемый условиями запуска алгоритма управления в работу. Это, в свою очередь, может потребовать комплексного моделирования технологического процесса с различными исходными условиями для процесса в целом. Проблема учета начального состояния в наибольшей степени актуальна для циклических технологических процессов.

Интеграция в модель процесса моделей возмущений и локального управления приводит к комплексному моделированию процесса и накладывает дополнительные условия по дискретности моделирования процесса во времени, усложняя решение прикладных задач на основе такой модели.

Если управление, примененное в каждый отдельный момент времени периода работы алгоритма, в неравной степени сказывается на итоговых оценках эффективности, то можно говорить о развитии процесса. Например, при управлении электрическими параметрами в электродуговых технологических агрегатах по ходу процесса особенности взаимодействия дуги с расплавом изменяются. Поэтому, вариация электрических параметров в отдельные моменты времени не позволяет прогнозировать оценки эффективности процесса без моделирования развития процессов взаимодействия дуги с расплавом [10].

Для некоторых технологических процессов частные оценки эффективности могут быть получены в каждый момент времени и итоговые оценки эффективности определяются усреднением во времени. В таком случае не требуется связанное моделирование алгоритмов локального управления и развития технологического

процесса. Результаты моделирования работы алгоритмов локального управления с применением одних только моделей возмущений могут использоваться далее для расчета оценок эффективности.

При моделировании технологического процесса можно учесть неопределенность, связанную с ошибками контроля и моделирования. В таком случае моделируется работа алгоритма локального управления, использующего неточные данные моделируемого развития процесса. Результатом является влияние ошибок контроля и моделирования на оптимальность по Парето. При вариации параметров настройки алгоритма локального управления можно оценить влияние ошибок на достижимую вариативность процесса. Например, в [8, 16] было выполнено моделирование управления качеством железорудного агломерата в условиях неопределенности параметров железорудной смеси. Было показано, что при использовании предложенного алгоритма управления изменение точности контроля в принятых пределах не влияет на вариативность оценок эффективности доменного процесса, в котором используется произведенный агломерат.

При организации тестирования алгоритмов локального управления с применением усредненных моделей технологического процесса и моделей возмущений нужно учитывать, что ход технологического процесса в отдельные периоды времени может существенно отклоняться от расчетов по усредненной модели с фиксированными параметрами настройки \bar{n} .

Обычно, под возмущениями понимают внешние воздействия на систему, то есть изменение входных параметров \bar{x} . Учет непостоянства параметров настройки модели \bar{n} направлен на расширение спектра производственных ситуаций, для которых выполняется оценка эффективности алгоритма локального управления. Для определения особенностей изменения \bar{n} по ходу процесса необходимы алгоритмы самонастройки, оперирующие текущей технологической информацией.

Для создания моделей, генерирующих возмущения по параметрам настройки \bar{n} необходимо моделирование процесса самонастройки по долгосрочным архивам технологической информации. Однако, при высокой размерности \bar{x} и \bar{n} следует

ожидать проблем агрегирования результатов. В таком случае, генераторы возмущений \bar{n} могут не создаваться. Тестирование алгоритма управления выполняется непосредственно с применением долгосрочных архивов технологической базы данных.

Схема на рис. 7 предполагает совместное моделирование работы алгоритмов локального управления и самонастройки. Модели возмущений используются для получения текущих оценок внешних воздействий \bar{x} , не связанных с ранее примененными алгоритмами управления при аккумуляции информации в базу. При расчете \bar{x} используются текущие значения \bar{n} , сформированные алгоритмом самонастройки. Таким образом, алгоритм самонастройки формирует состояние модели процесса перед началом тестирования алгоритма управления.

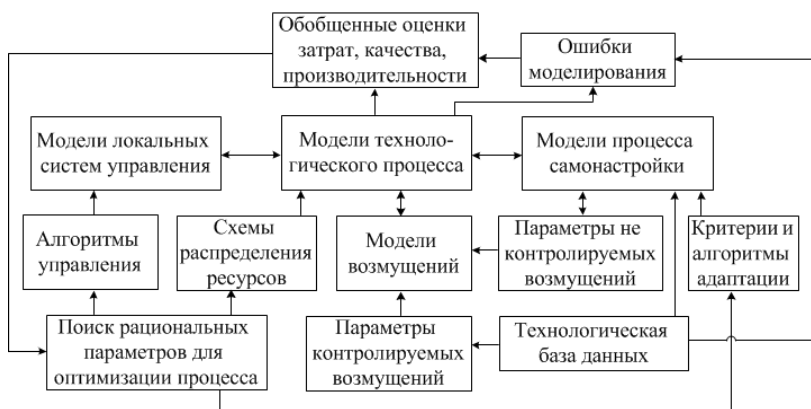


Рис. 7. Схема совместного моделирования работы алгоритмов локального управления и самонастройки

Алгоритм управления локальной подсистемой может использовать различную информацию о ходе процесса, в том числе и основанную на неконтролируемых внутренних параметрах модели \bar{z} , текущие значения которых зависят от \bar{n} . Таким образом, алгоритм самонастройки оказывает влияние на работу алгоритма локального управления.

При применении алгоритма управления для решения практических задач управления реальным процессом эффективность

управления может отличаться от результатов предварительного моделирования вследствие отличия настроенной модели от состояния реального процесса. Таким образом, возникает проблема предварительной сравнительной оценки эффективности алгоритмов самонастройки.

Оценку эффективности алгоритма самонастройки целесообразно проводить с позиции обеспечения соответствия таких параметров модели реальному процессу, которые оказывают наибольшее и определяющее влияние на формирование информации, запрашиваемой алгоритмом локального управления от комплексной модели процесса.

Учитывая, что, модели процессов, как правило, в той или иной степени упрощают более сложную действительность, уменьшение ошибок моделирования отдельной группы параметров может существенно снизить точность оценки прочих параметров. В таком случае, для разных алгоритмов локального управления целесообразно создать индивидуальные экземпляры комплексной модели процесса, самонастройка которых осуществляется различными алгоритмами (рис. 8).

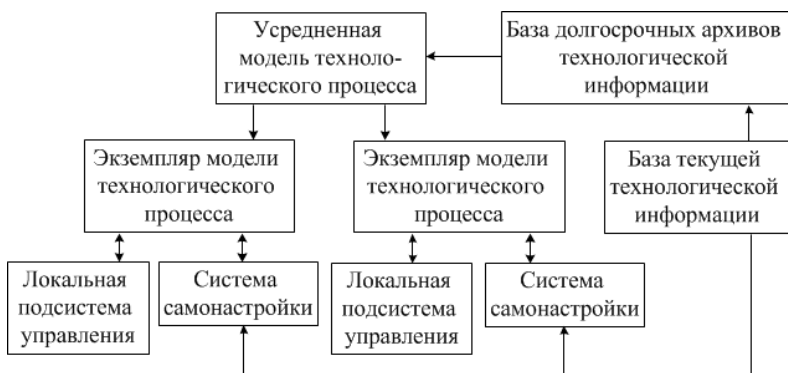


Рис. 8. Схема взаимодействия алгоритмов локального управления с индивидуальными экземплярами настраиваемой комплексной модели процесса

Согласно схеме на рис. 8, с применением базы долгосрочных архивов технологической информации определяются

усредненные значения параметров настройки модели технологического процесса. Далее каждая подсистема локального управления взаимодействует со своим экземпляром комплексной модели, для самонастройки которого предусмотрен индивидуальный алгоритм.

Получение оценок эффективности алгоритма самонастройки возможно путем моделирования процесса самонастройки по базе долгосрочных архивов с учетом фактически сформированных управляющих воздействий (алгоритмами управления, которые использовались при аккумуляции информации в базу). В момент возникновения в технологических данных существенного по амплитуде возмущения по параметрам, формирующим информацию для новых алгоритмов управления, тестирование которых предполагается в будущем, настроенная модель используется для прогноза состояния процесса после возмущения. При моделировании состояния процесса в период возмущения учитываются фактически сформированные управления.

Например, предположим, что алгоритм самонастройки периодически настраивает модель термической обработки полосы в агрегате непрерывного горячего оцинкования. При переходе на новые параметры процесса (температуры в зонах печи, параметры полосы) необходимо выполнить прогноз ключевого параметра – температуры полосы на выходе из печи. Выполняется моделирование (прогнозирование) изменения температуры полосы на выходе из печи в период возмущения и полученный результат сравнивается с фактической температурой полосы в базе. Полученные ошибки прогнозирования характеризуют эффективность алгоритма самонастройки.

Возможна ситуация, когда частотные диапазоны возмущений и изменения \bar{n} близки. Тогда, при прогнозировании параметров процесса после возмущения целесообразно использовать модель, параметры которой \bar{n} определены путем экстраполяции (прогнозирования) во времени. В таком случае, алгоритм прогнозирования на основе экстраполяции дополняет алгоритм самонастройки, обеспечивая алгоритм локального управления возможностью проектирования управления с учетом изменения в будущем важных (согласно задействованной в алгоритме ло-

кального управления информацией) свойств технологического процесса.

Рассмотренный комплекс задач, включающий создание моделей возмущений, алгоритмов самонастройки и прогнозирования на основе экстраполяции, тестирования алгоритма локального управления, можно назвать алгоритмической оптимизацией. Ее этапы представлены на рис. 9.



Рис. 9. Этапы алгоритмической оптимизации

Первый этап связан с созданием модели контролируемых возмущений. Под такими возмущениями понимаем однозначно идентифицируемые воздействия на объект управления в форме, определяемой особенностями алгоритма локального управления. Второй этап предполагает разработку способов адаптации. Под адаптацией понимается получение модели с усредненными параметрами настройки и разработка алгоритма самонастройки, ориентированного на алгоритм локального управления, оперирующий определенной информацией. На данном этапе также решается задача идентификации возмущений по неконтролируемым параметрам. Третий этап связан с поиском способов прогнозирования на основе экстраполяции во времени, образующих с алгоритмом самонастройки единый комплекс для прогнозирования развития состояния процесса. Итогом являются частотные и событийные модели ошибок прогноза параметров, востребованных алгоритмом локального управления. Четвертый, заключительный этап предполагает тестирование алгоритма локального управления совместно с алгоритмом самонастройки индивидуального экземпляра комплексной модели процесса. Наличие моделей ошибок прогноза параметров позволяет оперировать при сравнении алгоритмов локального управления облаком рассеяния обобщенных оценок технико-экономических показателей.

3. Готовность ПЛК и SCADA к построению самоорганизующихся интегрированных систем управления

Построение самоорганизующихся интегрированных систем управления требует программной платформы, обеспечивающей возможности: выбора и загрузки посредством SCADA в программируемый логический контроллер (ПЛК) набора значений параметров настройки алгоритмов локального управления; выбора и загрузки посредством SCADA в ПЛК варианта логической программы управления; применения блоков логической программы, предназначенных для загрузки в ПЛК, при моделировании процесса с учетом локального управления.

В качестве примера рассмотрим возможности программных средств фирмы Siemens, одного из лидеров в области производства промышленных ПЛК. В большей степени задаче управления с применением вариативного множества логических программ соответствует средство SIMATIC BATCH пакета PCS. Данное средство позволяет применять разные стратегии управления. Для создания стратегий можно использовать типовой интерфейс SFC или диалог редактора BATCH [15]. Редактор интегрирован с иерархической структурой проекта, определяемой в системе PCS. В 2017 году была выпущена PCS 9. Входящий в состав пакета SIMATIC BATCH претерпел ряд изменений, направленных, в том числе, на повышение вариативности управления. Отличия от предыдущих версий демонстрирует рис. 10.

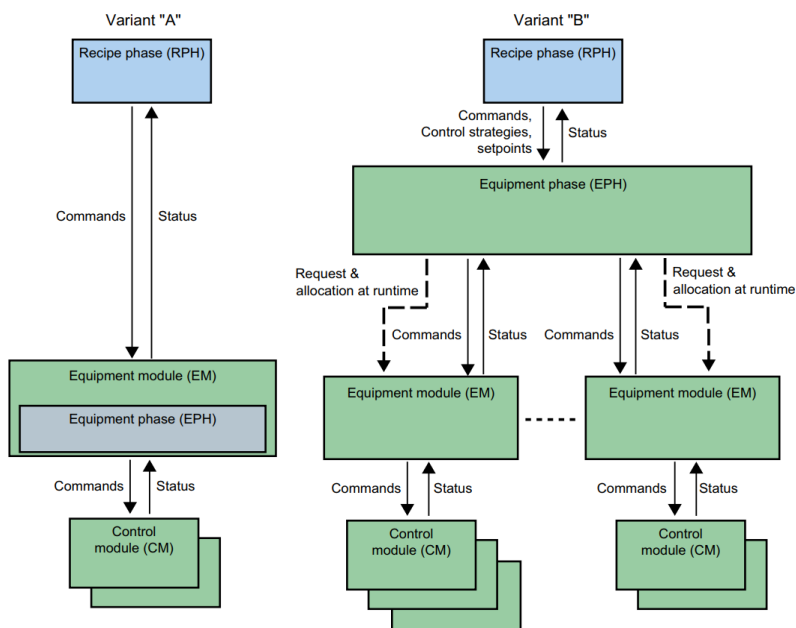


Рис. 10. Изменения в принципах SIMATIC BATCH пакета PCS 9 (вариант В) по сравнению с предыдущими версиями (вариант А) [17]

В версиях PCS до девятой «фаза оборудования» (EPH), определяющая логику управления, была жестко связана с «модулем оборудования» (EM) и предполагала создание настроечных рецептов, привязанных к аппаратуре. В PCS 9 рецепты (RPH) интегрируются с EPH, а для одного и того же EM можно определить множество EPH. То есть, «фаза оборудования» позволяет определить множество стратегий управления и может являться основой последующего построения гибких интегрированных систем управления.

4. Заключение

В работе сформулирован принцип повышения гибкости интегрированной системы управления производством, заключающийся в расширении области Парето-оптимальных решений в пространстве обобщенных оценок технико-экономической эффективности путем обеспечения вариативности программ управления подсистемами. Предложен подход к организации гибкой эволюционно развивающейся интегрированной системы управления производством, отличающийся возможностью модификации программ локального управления персоналом, не принимавшим участие в разработке системы, но сопровождающим ее работу, на основе полученного в ходе эксплуатации системы индивидуального опыта. Рассмотренный способ повышения гибкости интегрированных систем управления основан на применении модели процесса при тестировании алгоритмов управления подсистемами. Для тестирования целесообразно использовать индивидуальные экземпляры комплексной модели, настройка которых осуществляется, исходя из используемой алгоритмом управления информации о ходе процесса. В связи с этим необходима разработка программного обеспечения для создания, сопровождения и практического использования экземпляров комплексной модели при тестировании алгоритмов управления подсистемами.

Проведенная оценка современных систем диспетчерского управления на примере PCS фирмы Siemens показывает принципиальную возможность создания самоорганизующихся си-

стем управления, в которых логические программы автоматического управления отдельных подсистем изменяются с целью обеспечения требуемой финансовой политики предприятия. Можно предположить, что создание таких систем будет представлять собой эволюционный процесс, в котором первоначальной стадией является дальнейшее совершенствование средств манипуляции кодом промышленных контроллеров на уровне систем диспетчерского управления. Это должно способствовать повышению вариативности управления подсистемами и постепенному переходу к структуре на рис. 4. При этом дальнейшее развитие концепции пакетов ВТСН предполагает возможность формирования различных в аппаратном плане вариантов структур подсистем, оптимизированных под соответствующие варианты логических программ. Для вариантов подсистем могут быть предусмотрены индивидуальные базы данных и модели, решающие задачи идентификации возмущений и тестирования алгоритмов управления.

Литература

1. БЕЛОВ М.В., НОВИКОВ Д.А. *Модели адаптации в динамических контрактах в условиях вероятностной неопределенности* // Управление большими системами: сборник трудов. 2017. Т. 68. С. 100-136.
2. МУСАЕВ А.А., ШЕРСТЮК Ю.М. *Интеграция автоматизированных систем управления крупных предприятий: принципы, проблемы, решения* // Автоматизация в промышленности. 2003. №10. С. 40-45.
3. НОВИКОВ Д.А. *Комплексные модели системной оптимизации производственно-экономической деятельности предприятия* // Управление большими системами: сборник трудов. 2017. № 65. С. 118-152.
4. ПОПЛАВСКИЙ А.А., ЗИННЕР В.И., ИВАНОВ М.Т. *Автоматизированные диспетчерские центры как интегрированные интеллектуальные системы управления перевозочным процессом* // Железнодорожный транспорт. 2011. №4. С. 26-31.

5. ПОТАПОВА Т.Б. «Аксиомы» интеграции АСУТП и АСУП // Автоматизация в промышленности. 2003. №9. С. 31-35.
6. РОЙ СЛАВИН. Единственный путь повышения эффективности производства интеграция снизу-вверх. Режим доступа: <http://old.mka.ru/?p=40089>. (дата обращения: 05.11.17)
7. РЯБЧИКОВ М.Ю. Адаптация теплотехнических моделей протяжной башенной печи и нагрева металла для управления температурными режимами отжига стальной полосы // Проблемы управления. 2017. № 5. С. 61-69.
8. РЯБЧИКОВ М.Ю., ГРЕБЕННИКОВА В.В., РЯБЧИКОВА Е.С. Выбор критерия оптимизации управления качеством металлургического агломерата // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2016. №2. С. 96-106.
9. РЯБЧИКОВ М.Ю., ПАРСУНКИН Б.Н., РЯБЧИКОВА Е.С. Выбор режимов работы агрегата ковши-печь с использованием обобщенных оценок качества и затрат на процесс // Черные металлы. 2014. № 12 (996). С. 28-34.
10. РЯБЧИКОВ М.Ю., ПАРСУНКИН Б.Н., РЯБЧИКОВА Е.С. Моделирование низкочастотных возмущений электрических параметров в дуговой сталеплавильной печи переменного тока ДСП-180 // Электрометаллургия. 2015. №5. С. 31-40.
11. РЯБЧИКОВ М.Ю., РЯБЧИКОВА Е.С. Управление температурным состоянием протяжной башенной печи для рекристаллизационного отжига стальной полосы // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2018. № 1. С. 13-21.
12. Управление развитием крупномасштабных систем (Современные проблемы. Выпуск 2) / Под редакцией А.Д. Цвиркуна. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2015. – 473с. – ISBN 978-5-94052-239-3.
13. ЯКОВИС Л.М. Повышение интеллектуального уровня систем управления производством – проблемы и перспективы / Л.М. Яковис // XII Всероссийское совещание по проблемам управления. Москва. 16-19 июня 2014 г. С. 4380-4391.

14. *MES. Материал из Википедии – свободной энциклопедии.* Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/MES>. (дата обращения: 05.02.19)
15. *Process control system PCS 7 SIMATIC BATCH V8.2 Getting Started.* 2017. 198 p.
16. RYABCHIKOV M.YU. *Metallurgical agglomerate quality management with the account of its impact on the blast-furnace process efficiency.* The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018. Т. 94. № 9-12. С. 3785-3794.
17. *SIMATIC BATCH V9.0 Operating Manual.* 2017. 1104 p.

INCREASING MANUFACTURING FLEXIBILITY THROUGH IMPROVEMENT OF CONTROL SUBSYSTEMS BASED ON ACCUMULATED PROCESS DATA

Michael Ryabchikov, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Cand.Sc., assistant professor (mr_mgn@mail.ru).

Abstract: Unstable demand for technological products of various levels and purposes is characteristic of the present-day situation. To increase manufacturing flexibility, it is necessary to agree on objectives at various levels of an integrated system where control can be exercised in various time scales. The paper proposes an approach to organization of flexible manufacturing management ensuring variation in control subsystems with regard to flexibility of manufacturing as a whole. Gradual evolutionary transition to variation in control subsystems based on personnel experience and accumulated process data is believed to be possible. This approach implies testing of control subsystem options using process and disturbance models. It appears that at a reduced rate of updating the manufacturing management software with regard to the rate in recent decades, and development of manufacturing databases, improvement of systems with active engagement of personnel will be one of the main resources for further increase in manufacturing efficiency and flexibility. Issues related to preliminary testing of control subsystem options are considered. A sequence of steps for assessment of control subsystem options, designated as algorithmic optimization, is proposed. Prospects of using the existing tools to manage Siemens process controller software at the level of dispatching control, with regard to their use as a platform to create an integrated control system allowing for variations in control subsystems, are evaluated.

Keywords: flexible manufacturing, variation in control subsystems, testing of control algorithms, disturbance models.

УДК 62-503.57
ББК 30.606

Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...

Поступила в редакцию ...заполняется редактором...

Опубликована ...заполняется редактором...