

УДК 004.043;519.872

## УПРАВЛЕНИЕ ДИСКРЕТНЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ И БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ: ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА

### CONTROL OF DISCRETE PROCESSES IN PRODUCTION AND BUSINESS: THEORY AND METHODIC

**В. И. Кудрявцев,**

ЗАО «Мосэнергоремонтсервис», Москва, Россия, доктор техн. наук

**О. Ф. Зирко,**

науч. сотрудник ГУ «БелИСА»

**V. Kudriavtsev, O. Zirko**

Дата поступления в редакцию — 01.06.2016 г.

Рассмотрены вопросы создания информационной поддержки для автоматического управления процессами дискретных производств и бизнес процессов. Изложен новый подход адаптивного прогнозного управления в очередях для производственных линий. Проанализированы возможные технические и экономические эффекты такого управления.

In the article issues of information support were addressed for automatic control of discrete processes of production and business processes. A new approach for adaptive predictive control in queues was set out for production lines. There were analyzed possible technical and economic effects of such management.

В сложных производственных и бизнес-процессах создается большое количество производственных данных, влияние которых на тот или иной процесс управления заранее определить невозможно в условиях изменяющихся бизнес-процессов. В связи с этим для каждого процесса управления необходимы не отдельные специально импортируемые для него данные, а произвольный доступ ко всем производственным данным. Предположим, что при изменении поставщика поставляемая деталь отличается, например, шероховатостью, которая повлияет на механообработку производственного процесса, настроенную на обработку деталей только одного поставщика. Значение шероховатости поверхности раньше не использовались для такой настройки, и в процесс управления механообработкой такие данные не импортировались. При перенастройке процесса механообработки

это значение должно быть учтено, причем учтено автоматически. Кроме того, результат автоматической перенастройки процесса механообработки в приводимом примере необходимо также автоматически учесть при управлении цепочкой производственных процессов, в ходе которой создается сложное изделие, включающее эту деталь. Именно для такого автоматического управления и его перенастройки необходим произвольный доступ к производственным данным, поскольку изменения поставщиков и условий обработки в современном производстве происходят достаточно часто, а номенклатура используемых деталей и производственных операций велика.

В существующей системе моделирования производственных процессов, например в стандартах IDEF (ICAM DEFinition) [5], логика формирования данных и обмена данными ис-

ходит из логики формирования и использования данных в функциональных узлах производственной обработки. Мы считаем, что логика формирования данных должна строиться относительно предмета производственной обработки, что позволило бы выделить логику формирования данных в разных производственных узлах обработки. Такая логика возможна для процессов дискретного производства (ПДП), в которых все производственные операции реализуются отдельно для каждого из выделенных предметов обработки. В качестве таких предметов обработки могут, например, выступать экземпляр ремонтируемой техники или сборочное место сложного изделия.

Поскольку ПДП имеют давнюю традицию моделирования в так называемой теории массового обслуживания или теории очередей (ТО), мы будем использовать некоторые термины этой теории, а именно: требование как отображение предмета производственной обработки, очередь требований как отображение процесса массового производства, предусматривающего одновременную обработку нескольких требований на разных стадиях производственного процесса, обслуживающий прибор (ОП) как отображение узла производственной обработки и источник требований как ОП, создающий факт поступления требования в процесс обработки. Часть этих понятий используется так же, но в собственном определении, например в определении требования, в теории расписаний. Однако авторы в качестве исходных определили именно набор понятий и исходная модель ТО, поскольку в ней подробнее моделируется ПДП, в то время как в теории расписаний подробнее моделируются задачи управления ПДП при дополнительном огрублении моделирования самого ПДП, что никак не улучшает перспективы ее использования для управления ПДП в режиме реального времени. В работе [2] были обоснованы теоретические основания для моделирования ПДП в концепции производственной очереди (MQ — manufacturing queue), в которой используется расширенная по сравнению с ТО трактовка перечисленных выше понятий, а также выдвигается концепция места очереди как отдельное от требования понятие.

В концепции MQ требование поступает в последовательную обработку на местах

MQ, представляющих собой этапы производственной обработки для единичного требования. Она включает в себя системную производственную обработку, которая реализует перемещение требования по местам MQ в соответствии с так называемой дисциплиной MQ, а также может включать в себя технологическую обработку, связанную с контролем параметров или технологическими изменениями, осуществляемыми на местах очереди. Таким образом, место очереди и требование связывают операции производственной обработки, при этом не имеет значения, с чем вы соотносите активную роль в такой обработке: с требованием или с местом очереди. Связь требования и места очереди в MQ называется ОП. Кроме очереди мест очереди в MQ следует различать также очередь требований, поскольку ТО предусматривает одновременную производственную обработку для нескольких требований на разных местах MQ. При этом требование рассматривается не как отдельный объект, а как единичный целостный производственный процесс, то есть как последовательность операций, ведущих к получению конечного единичного производственного результата. Это позволяет представлять в виде требований многие отдельные бизнес-процессы из сферы услуг, например финансовые транзакции, которые не имеют выраженного отдельного объекта обработки, а также транспортные, бытовые и другие услуги. Тогда требование может трактоваться как последовательность событий MQ для единичного производственного процесса.

Требование также может рассматриваться как информационный процесс, то есть как процесс формирования данных в информационной системе, отражающий последовательность событий соответствующего единичного производственного процесса. Каждое событие при этом может быть описано посредством производственного факта, представляющего собой особую структуру связанных данных, называемых измерениями факта, включая его значение, время фиксации, данные локализации, авторизации и достоверности. Тогда можно говорить о фактологической структуре MQ в информационной системе, которую назовем QFS.

Вопрос, может ли существовать QFS, решается на трех уровнях: теоретической возможности, технологической осуществимости и практи-

ческой целесообразности. Авторы разработали теоретические основы модели данных QFS, сочетающую концепции MQ и производственного факта. Доказана ее технологическая осуществимость [3]. В настоящее время эта модель данных находится в процессе доработки. В данной статье невозможно подробное описание QFS. Как полагают авторы, в перспективе QFS позволит сопоставлять все производственные данные в их потенциальной причинно-следственной связи, как в основном производственном процессе, так и в совокупности влияющих на него процессов производства. На уровне практической целесообразности следует обосновать такую обработку данных QFS, которая бы создавала новые эффекты при управлении MQ.

На рис. 1 представлена простейшая концептуальная модель системы из двух связанных пятиместных MQ I и MQ II, функционирующих в дисциплине FIFO, то есть «первый вошел, первый вышел». Показаны направления перемещений требований в очередях, при этом после обработки в MQ I требование, которое назовем активным, передается в MQ II, где оно проходит дальнейшую обработку и становится активным требованием уже следующей очереди MQ II. По мере пребывания активного требования в очереди формируется информационный отчет о фактах пребывания требования на местах MQ I. Когда активное требование переходит в MQ II, отчет завершается и размещается в архиве требований. Такой завершенный отчет назовем архивным требованием. Между архивным требованием и соответствующим ему активным требованием (см. рис. 1), сохра-

няется информационная связь, при этом в MQ I и в MQ II существуют незанятые места очереди, поскольку требование, которое могло бы его занять, либо еще не поступило в очередь или еще не прошло необходимой обработки на предыдущем месте очереди.

Время, в течение которого место MQ остается незанятым требованием, называется простоем места очереди. Время, в течение которого требование, уже прошедшее обработку на предыдущем месте очереди, не может перейти на следующее место очереди, называется простоем требования на месте очереди. Простой мест очереди, простои требований на местах очереди и значения измерений фактов требования — это те величины, создаваемые в MQ, которые могут быть оптимизированы при управлении ею. Кроме того, можно управлять распределением требований из одной MQ в другие. Для этого так же, как и в ТО, предлагается использовать расчет прогнозов для текущего состояния очереди. Однако, в отличие от ТО, в качестве функции прогноза предложено использовать не решения дифференциальных и интегро-дифференциальных уравнений, а алгоритмы и аппроксимирующие функции.

Прогнозы *PS*, которые исчерпываются применением одной или нескольких аппроксимирующих функций для создания прогноза в рамках одного места очереди будем называть частными прогнозами. Структура частного прогноза *PS* в последовательности его операций и их результатов для одной аппроксимирующей функции может быть представлена следующим образом:

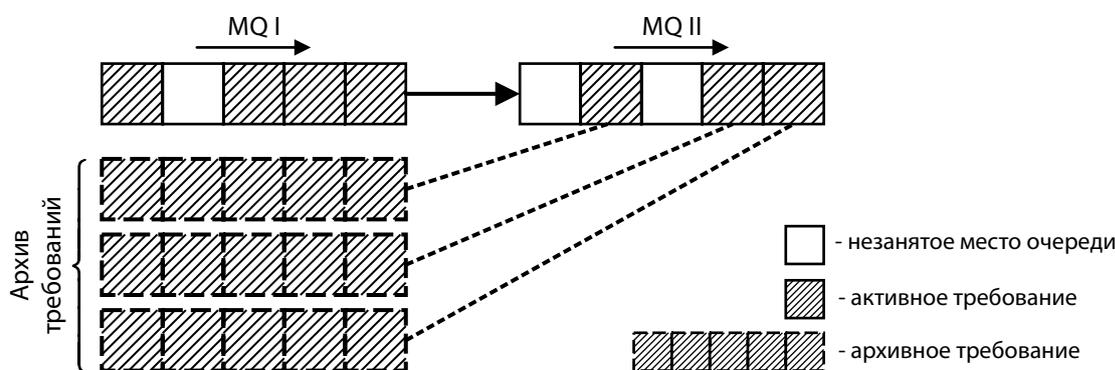


Рис. 1. Концептуальная модель системы из двух связанных MQ

$$PS\left(X_j^{g(N1,n2)}, v^{n2}, X_{Np}^{g(N1,n2)}, Z_{Np}^{n2}, f^s\left(X_j^{g(N1,n2)}\right); y_j^{g1(s,n2)}; Y_{Np}^{g1(s,n2)}; p_j^{n2}, +\delta 1_j^{n2}, -\delta 2_j^{n2}\right), \quad (1)$$

где  $X_j^{g(N1,n2)} = \{x_j^{g(N1,n2)} | g(N1, n2)\}$  — значения предпосылок набора N1 для прогнозируемого значения измерения n2 одного из ожидаемых фактов, которое назовем следствием этих предпосылок, связанных условием достаточной тесноты корреляции  $g(N1, n2)$  для j-го активного требования очереди, относительного которого ведется расчет;

$y_j^{g1(s,n2)}$  — значение прогноза следствия, вычисленное на основе предпосылок  $X_j^{g(N1,n2)}$  для j-го требования с использованием аппроксимирующей функции с индексом s, включающее в себя прогнозируемое значение  $y_j^{n2}$  в n2 измерения события очереди, отображаемом многомерным фактом при условии  $g1(s, n2)$  сочетания прогнозируемого значения с соответствующей аппроксимирующей функцией;

$v^{n2}$  — событийное условие начала вычислительного процесса в частном прогнозе PS значения  $y_j^{g1(s,n2)}$  для j-го активного требования очереди. Условие включает в себя: собственно событие очереди, например, связанное с получением нового значения следствия  $z^{n2}$  для одного из предшествующих j-му требованию других активных требований очереди, сравнение его с соответствующим прогнозом  $y^{n2}$  и оценку результатов сравнения этого события по критерию точности определенному для прогноза этого следствия (событийное условие  $v^{n2}$  входит в набор условий  $V^{N2}$  для набора частных прогнозов N2 активного требования событийной схемы MQ, названной IRs);

$X_{Np}^{g(N1,n2)}, Z_{Np}^{n2}$  — QFS прецедент для измерения n2, в виде множества значений измерений разных фактов, выделенных в прецедент данных предпосылок  $X_{Np}^{g(N1,n2)}$  и следствий  $Z_{Np}^{n2}$  из набора Np процессов архивных требований QFS для рассматриваемой MQ по набору N1 предпосылок, коррелированных с измерением n2 (процесс требования предусматривает сопоставление фактов активного и архивных требований, находящихся в потенциальной причинно-следственной связи);

$f^s(X_j^{g(N1,n2)})$  — одна из возможных аппроксимирующих функций с индексом s, связывающая выборку значений предпосылок  $X_j^{g(N1,n2)}$  с прогнозным значением  $y_j^{g1(s,n2)}$  для следствия этих

предпосылок в измерении n2. Аппроксимирующая функция  $f^s(X_j^{g(N1,n2)})$  определяется в QFS прецеденте  $X_{Np}^{g(N1,n2)}, Z_{Np}^{n2}$ ,

$Y_{Np}^{g1(s,n2)} = \{y_{Np}^{g1(s,n2)} | g1(s, n2)\}$  — прецедент данных вычислительной структуры, которую назовем QFSC (QFS to Calculations), создаваемую для прогнозов в Np архивных требованиях при условии взаимосвязи аппроксимирующей функции прогноза и ее результата  $g1(s, n2)$ ;

$p_j^{n2}, +\delta 1_j^{n2}, -\delta 2_j^{n2}$  — критерий точности прогноза  $y_{Np}^{g1(s,n2)}$ , включающий в себя надежность прогноза  $p_j^{n2}$  и доверительный интервал в виде составляющих его соответственно положительного  $+\delta 1_j^{n2}$  и отрицательного  $-\delta 2_j^{n2}$  полуинтервалов в относительных значениях для прогноза значения  $y_j^{g1(s,n2)}$  (значения  $p_j^{n2}$  и  $+\delta 1_j^{n2}, -\delta 2_j^{n2}$  вычисляются на основе прецедента данных  $Z_{Np}^{n2}, y_{Np}^{g1(s,n2)}$ ).

Кроме частных прогнозов, в MQ могут формироваться прогнозы, которые требуют сочетания многих частных прогнозов  $Y_{Na}^{g1(s,N2)}$  для набора N2 актуальных измерений Na активных требований MQ, вычисленных посредством набора S множества аппроксимирующих функций  $F^S(X_{Na}^{g(N1,N2)})$  в специальных алгоритмах расчета  $A_1(F^S(X_{Na}^{g(N1,N2)}))$ . Такие прогнозы будем называть мультипрогнозами. Они будут иметь собственный набор N3 результатов такого прогноза. Результаты мультипрогноза вместе с результатами частных прогнозов образуют специальную вычислительную структуру QFSC, о которой уже говорилось выше.

Мультипрогнозом является, например, прогноз времени реализации требования в конечном или промежуточном обслуживающем приборе MQ произвольного активного j-го требования в очереди или ее фрагменте, а также совокупность таких прогнозов для набора Na активных требований очереди. Такой тип прогнозов в ограничении верхнего предела времени ожидания реализации требования при ограничении верхнего предела вероятности реализации его в ОП совпадает с классической для ТО формулировкой задачи прогноза реализации требования в очередях с потерями требований [4]. В отличие от ТО, в MQ так называемые потери требований являются управляющими, а не случайными воздействиями на очередь, и их параметры являются целью расчета. Требование из произвольного участка очереди при этом принудительно передается для его реализации

в другой альтернативной очереди, поэтому этот процесс называется не потерей, а инореализацией требований [3].

С одной стороны, процессы инореализаций не часто встречаются среди реальных производственных процессов, то есть они недостаточно типичны. С другой стороны, процесс инореализаций является показательным с точки зрения демонстрации принципиальных различий между ТО и методикой управления MQ, которая в [2] названа вычислениями в процессе очереди QPS, но впоследствии авторы уточнили это название как расчет производственной очереди MQC. Кроме того, для MQ управление инореализацией требований является основой для рассмотрения еще более сложного типа управления во множестве сложно взаимодействующих между собой очередей.

Структуру мультипрогноза для MQ с инореализацией требований при заданных значениях верхних пределов вероятности реализации и времени ожидания, которые будем назвать вероятностным критерием реализации, можно записать в следующем виде:

$$PS1=PS(X_{Na}^{g(N1,N2)}; U_{Na}^{N3}, X_{Np}^{g(N1,N2)}, Z_{Np}^{N3}, A_1(F^{S}(X_{Na}^{g(N1,N2)})); Y_{Na}^{N3}, Y_{Np}^{N3}, p^{N3}, \{+\delta 1^{n3,N3}\}, \{-\delta 2^{n3,N3}\}), \quad (2)$$

где  $A_1$  — алгоритм, задающий вычислительный процесс, формирующий QFSC при заданных ограничениях вероятностного критерия реализации, определяющих потребность в процессе управления, здесь в инореализации требований из MQ;

$Y_{Na}^{N3}$  — прогноз временного графика прохождения активными требованиями MQ;

$Y_{Np}^{N3}, Z_{Np}^{N3}$  — соответственно прогнозы и фактические значения временных графиков прохождения набором  $Np$  архивных требований MQ;

$p^{N3}, \{+\delta 1^{n3,N3}\}, \{-\delta 2^{n3,N3}\}$  — согласованная оценка точности мультипрогноза (в данном случае подразумевается, что надежность отдельных прогнозов  $p^{N3}$  мультипрогноза соответствует верхнему пределу вероятности реализации в MQ);

$U_{Na}^{N3}$  — набор событий и условий IRs для пересчета мультипрогноза для набора  $Na$  активных требований MQ, не связанный с изменением частных прогнозов.

Однако остается вопрос обоснования самого вероятностного критерия реализации, который должен устанавливаться в результате анализа рисков и последствий управления на его основе. На анализ могут влиять как изменения параметров  $K$  внешней экономической конъюнктуры, учитываемые в функциях цели производства  $F^R(K)$  набора целей  $R$ , так и изменения производственной ситуации в MQ, ведь внесение управляющих изменений в очередь изменяет баланс рисков реализации и их последствий для многих активных требований сразу. Тогда структуру мультипрогноза с расчетом вероятностного критерия реализации можно записать в следующем виде:

$$PS2=PS(X_{Na}^{g(N1,N2)}; K; U_{Na}^{N3}; X_{Np}^{g(N1,N2)}, Z_{Np}^{N3}, A_2(F^{S}(X_{Na}^{g(N1,N2)}), F^R(K)); Y_{Na}^{N3}, Y_{Np}^{N3}, p^{N3}, \{+\delta 1^{N3}\}, \{-\delta 2^{N3}\}). \quad (3)$$

Можно заметить, что выражения (2) и (3) не содержат вероятностный критерий реализации, но отличаются по способу сочетания с этим критерием. Это означает, что выражения для  $PS1$  и  $PS2$  должны сочетаться с некоторым внешним вычислительным процессом, где этот критерий присутствует. Такой вычислительный процесс назовем вычислительным процессом исполнительного устройства PL (proposal), в данном случае устройства, осуществляющего инореализацию требований из MQ. В рамках работы [2] были разработаны алгоритмы  $A_1$  и  $A_2$ , алгоритм взаимодействия  $PS1$  и PL, который был назван алгоритмом расчета управляющего воздействия, и алгоритм взаимодействия  $PS2$  и PL, который был назван управлением рисками. Вычислительный процесс взаимодействия IRs с  $PS1$  и  $PS2$ , с одной стороны, и с QFS, с другой стороны, был назван оперативным уточнением управляющего воздействия на MQ. Управляющим воздействием со стороны PL на MQ, реализуемым посредством исполнительного устройства, является план управляющих воздействий, который в случае инореализации требований представляет собой последовательность инореализации  $\beta_k$  требований и фазы  $\varphi_k$  их инореализации из MQ. На рис. 2 представлен контур автоматического управления (АУ) инореализацией требований из MQ, где временная структура данных QFS I является промежуточной структурой данных для оперативного накопле-

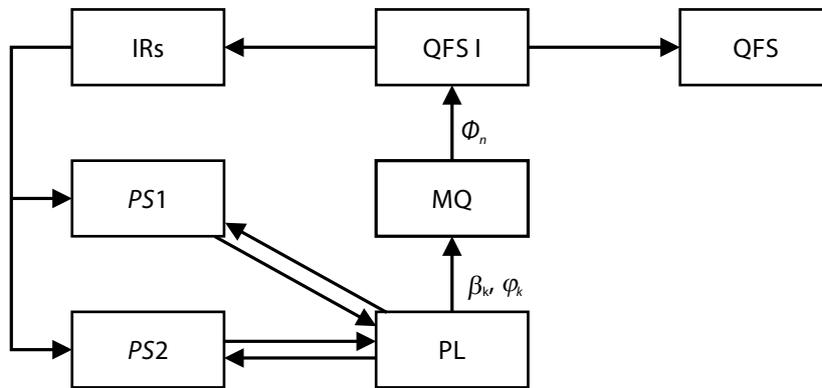


Рис. 2. Контур автоматического управления инореализацией требований из MQ

ния, анализа и передачи данных потока фактов  $\Phi_n$  событий MQ.

Временная структура хранения QFS I при этом создается на основе структуры фрагмента QFS для данной MQ и предназначена для проверки и размещения в ней потока фактов  $\Phi_n$  системных и технологических событий MQ относительно ее активных требований для последующего экспорта данных в постоянную структуру хранения QFS, а также для анализа их в вычислительном процессе IRs, который еще называется событийной схемой процесса управления IRs. Последний определяет, какие измерения каких фактов  $\Phi_n$  могут потребовать переделки плана управляющих воздействий на очередь в процессе PL, сравнивает вновь полученные их значения с соответствующими значениями в QFSC, определяет существенность отклонения разностей этих значений от соответствующих предельных значений точности частных прогнозов, а также от предельных значений точности результатов мультипрогноза. При существенности таких отклонений IRs определяет необходимость коррекции предпосылок и функций частных прогнозов, способ пересчета мультипрогноза в PS1 или целесообразность его пересчета в PS2.

Как следует из выражений (2) и (3), оба мультипрогноза теоретически опираются на один и тот же набор событий и условий их анализа  $U_{Na}^{N3}$ . Это означает, что события и условия  $U_{Na}^{N3}$  должны быть разделены для работы с прогнозом PS1 и для работы с прогнозом PS2. Хотя оба мультипрогноза используют одну и ту же структуру QFSC, что для случая с инореализацией требований может совпадать с  $Y_{Na}^{N3}$ , они

осуществляют разные алгоритмы взаимодействия с PL, имеют отличия в предпосылках и, соответственно, используют разные принципы формирования данных в QFSC. Выбор между использованием процессов PS1 и PS2 осуществляется исходя из того, что управление рисками предусматривает более точный мультипрогноз, но многократно более трудоемкий, чем мультипрогноз расчета управляющего воздействия. Управление рисками следует выбирать, когда относительно свободны вычислительные ресурсы и когда по ряду обстоятельств требуется обновить вероятностный критерий управления.

Процессы PS осуществляются поэтапно относительно каждого элементарного управляющего воздействия и также поэтапно посылают результаты расчета в процесс PL. Результат этапа расчета PS1 сравнивается в PL с вероятностным критерием реализации требования в заранее определенной и неизменной управляющей функции. Если будет выявлена необходимость выполнения еще одной инореализации, определяется возможность ее осуществления в рамках формируемого плана инореализаций в исполнительном механизме. Если и это окажется возможным, то инореализация включается в план с указанием номера требования и фазы  $\varphi_k$  его инореализации из очереди. Результатом этапа вычислений PS2 является рекомендация включить в план инореализаций определенное требование, и в процессе PL лишь проверяется возможность выполнения инореализации исполнительным механизмом и назначается фаза инореализации. Таким образом, параметры процесса PL не зависят от событий очереди IRs, то есть процесс PL не охвачен обратной связью в рам-

как рассматриваемого контура управления, за исключением моментов, когда в процессе PS2 обновляется вероятностный критерий управляющего воздействия для использования его затем при оценке результатов PS1 в PL. В этом случае это является обратной связью по конъюнктурным факторам, находящимся вне рассматриваемого контура управления, а не по текущему состоянию очереди, поскольку применяется не в текущем, а на следующем этапе управления.

Эта особенность данного контура управления, когда управляющая функция не изменяется и не охвачена обратной связью с объектом управления, отличает рассматриваемую методику управления MQC от методик теории автоматического управления (ТАУ) [1]. Кроме того, сама по себе MQ как объект управления в ТАУ никогда не рассматривалась. В MQ весь процесс АУ сводится к уточнению процессов PS. Однако в этом случае совершенно новую роль в АУ приобретает структура данных QFS, поскольку вычислительная структура QFSC, временная структура хранения QFS I и QFS прецедент, на основе которого строятся аппроксимирующие функции частных прогнозов и проверяются все типы прогнозов, созданы и взаимодействуют на основе QFS [2].

Рассмотрим влияние QFS на особенности и эффекты АУ MQ на примере уточненного контура АУ MQ с эффектами прямой информационной адаптации для управления MQ в целом, представленном на рис. 3, а не только для

управления инореализациями. Как показано на рис. 3, уточненный контур включает индивидуализацию обработки, автоматическую адаптацию управления MQ к изменяющимся условиям производства, автоматическую перенастройку производства с учетом внешних конъюнктурных факторов и полуавтоматическую адаптацию к изменяющимся целям управления.

Индивидуализация обработки в MQ заключается в том, что набор предпосылок  $X_{Na}^{g(N1,N2)}$  для частных прогнозов каждого  $j$ -го активного требования набора  $Na$ , например хранящийся в QFS I, позволяет вычислять индивидуальные для каждого требования частные прогнозы его обработки на каждом месте очереди, например прогноз длительности обработки. Индивидуализация обработки производственных процессов может быть реализована в двух автоматических режимах. Первый заключается в использовании различий в однотипных в своей основе изделиях, например каком-либо физическом параметре, влияющем на надежность или ограничение по области применения изделия, или различий в заданиях на изготовление изделий в рамках одного типоразмера изделий, например необходимость придать разнообразие изделиям, выпускаемых в рамках одного типа. Принятие решений по использованию таких различий может осуществляться автоматически в соответствии с выделенными прецедентом данных предпосылок  $X_{Np}^{g(N1,n2)}$ . Второй режим может быть реализован при автомати-

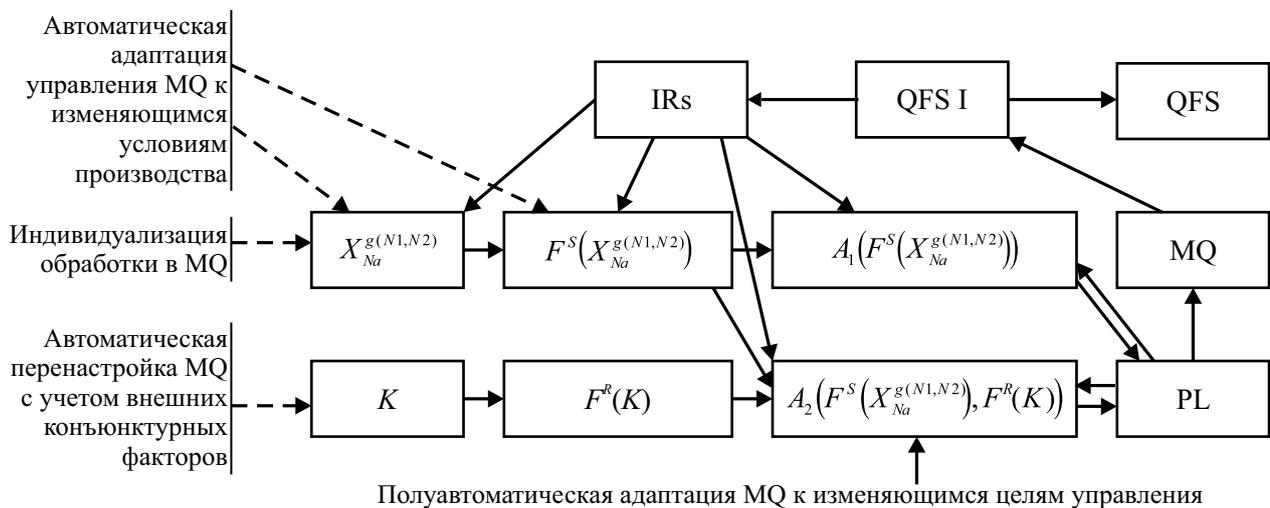


Рис. 3. Уточненный контур АУ MQ с эффектами прямой информационной адаптации

ческом управлении производительностью либо загрузкой оборудования производственных линий, при которых производится выборочное сокращение или увеличение обработки отдельных требований на отдельных стадиях обработки.

*Автоматическая адаптация управления MQ к изменяющимся условиям производства* заключается в том, что набор предпосылок  $X_j^{g(N1,n2)}$  для каждого частного прогноза обработки на месте очереди и аппроксимирующая функция  $f^s(X_j^{g(N1,n2)})$  для его расчета могут быть автоматически изменены при выходе частного прогноза за пределы установленного для него критерия точности при сравнении результата расчета частного прогноза в QFSC и соответствующего вновь поступившего фактического значения в QFS I в процессе IRs. Возможность такого автоматического уточнения заключается в том, что оптимальная аппроксимирующая функция может быть автоматически определена с использованием прикладных пакетов технологии DataMining из прецедента данных. Кроме того, с использованием пакетов корреляционного анализа технологии DataMining может автоматически формироваться новый QFS прецедент и, соответственно, новый набор предпосылок N1 для вычислений функции  $f^s(X_j^{g(N1,n2)})$ . Это стало возможным благодаря тому, что все данные QFS выстроены в потенциальной причинно-следственной связи друг с другом. Необходимость в автоматической адаптации управления MQ может быть вызвана непланируемой помехой, а также изменениями условий производства, например сменой поставщика, изменением со временем рабочих характеристик оборудования и изменениями в технологических приемах.

*Автоматическая перенастройка производства с учетом внешних конъюнктурных факторов K* выполняется при изменении значений экономической, в частности сбытовой конъюнктуры. Например, при изменении значения товарных запасов на производственных складах и складах контрагентов по различным типам производимых изделий автоматически изменятся результаты расчета по установленным заранее формулам  $F^R(K)$ . Это автоматически скажется на изменении вероятностного критерия управляющих воздействий, определяемом в ходе вычислений в алгоритме  $A_2(F^S(X_{Na}^{g(N1,N2)}), F^R(K))$ . Новое значение этого критерия передается в процесс PL, где будет использоваться для оценки вычис-

лений по алгоритму  $A_1(F^S(X_{Na}^{g(N1,N2)}))$ . Независимо от используемого алгоритма расчета при управлении дистрибуцией требований из одной MQ в другую или при управлении инореализацией требований из MQ это приведет к перераспределению производственных потоков на предприятии в соответствии с изменениями, например, экономической сбытовой конъюнктуры. Очевидно, что система автоматически не может менять ни состав учитываемых факторов экономической конъюнктуры K, ни математические модели их учета  $F^R(K)$ , если данные по этим факторам не включены непосредственно в QFS, а привлекаются в нее как сторонние данные.

*Полуавтоматическая адаптация к изменяющимся целям управления* заключается в том, что математические модели учета экономических факторов  $F^R(K)$  меняют вручную. Можно также менять наборы K, добавлять или удалять модели  $F^R(K)$ . После обработки наборов K и  $F^R(K)$  все изменения, характеризующие новую конфигурацию целей производства, учитываются автоматически в расчетах по алгоритмам  $A_2(F^S(X_{Na}^{g(N1,N2)}), F^R(K))$ , а также опосредованно при оценке результатов вычислений по алгоритму  $A_1(F^S(X_{Na}^{g(N1,N2)}))$  с использованием обновленного вероятностного критерия управления в процессе PL. Соответственно автоматически будут изменяться параметры производственной обработки изделий. Изменение целей производства происходит, когда меняется актуальность основных параметров производства, например в разные периоды экономической конъюнктуры может быть сделан больший упор на увеличение производительности или на повышение качества изделий по разным их типам, что отражается в изменении моделей расчета технико-экономических оценок  $F^R(K)$ .

Перечисленные выше эффекты прямой информационной адаптации вычислений к изменяющимся параметрам и условиям вычислений являются результатом уточнения управляющего воздействия при уточнении функции и предпосылок частных прогнозов  $F^S(X_j^{g(N1,n2)})$  по набору условий  $V^{N3}$  частных прогнозов в MQ событийной схемы IRs, а также при уточнении расчета по внешним конъюнктурным данным  $F^R(K)$ , которое осуществлялось по набору условий из множества  $U^{N3}$  событийной схемы IRs в выражении (3). Отдельным эффектом АУ MQ является оперативное уточнение управляющего воздействия

в ходе пересчета  $A_1(F^S(X_j^{g(N1,n2)}))$  в QFSC, осуществляемое в соответствии с выражением (2) для мультипрогноза PS1. Этот эффект связан с анализом накапливающейся ошибки мультипрогноза и рассматривается вне эффектов прямой адаптации АУ, поскольку не связан с уточнением расчетов  $F^S(X_j^{g(N1,n2)})$  и  $F^R(K)$ . Пересчет по алгоритму  $A_1(F^S(X_j^{g(N1,n2)}))$  при этом исчерпывается операциями сложения и сравнения, требующими минимальных вычислительных ресурсов. Кроме того, этот пересчет никогда не требует полного вычисления по алгоритму  $A_1(F^S(X_j^{g(N1,n2)}))$ , а сводится к дополнению или частичному изменению старого расчета. Все это приводит к уменьшению времени расчета, а с ним — и глубины прогнозирования, то есть отрезка времени, на котором вычисляется прогноз, что повышает его точность, а значит, и точность управления. В ходе расчета при этом возможен маневр вычислительными ресурсами, когда наиболее проблемный с точки зрения достоверности элемент прогноза пересчитывается заново в момент минимально возможной глубины этого прогноза, что образует совместное событие очереди и вычислительного процесса. Такие события также входят в понятие событийной схемы IRs.

В перечисленных эффектах автоматического управления, параметры QFS и MQ задают параметры временных структур хранения QFS I, а параметры MQ и QFS прецедента задают параметры вычислительной структуры QFSC. Эффекты прямой информационной адаптации MQ основываются на автоматическом анализе и изменении как QFS прецедента, так и методов его обработки в QFSC, в качестве которых выступают аппроксимирующие функции и алгоритмы расчета. Фактор уже состоявшегося в прецеденте управляющего воздействия при этом включается в число предпосылок или учитывается в условиях алгоритма мультипрогноза. Тогда аппроксимирующие функции прогноза и альтернативные алгоритмы мультипрогноза могут выбираться путем конкурентного сравнения их по точности прогноза в QFS прецеденте. Именно возможности автоматического формирования QFS прецедента определяют новые информационные возможности АУ MQ.

Анализ QFS прецедента может создавать новые возможности для информационной поддержки производственной эксплуатации систем управления. Одной из таких возможностей яв-

ляется реализация метрологического контроля систем управления в совместном QFS-QFSC прецеденте, которая заключается в том, что из АУ MQ может инициироваться поиск в полуавтоматическом режиме неисправных средств производственного контроля и неконтролируемых помех до того, как связанные с ними проблемы проявят себя в аварийных ситуациях управления MQ. Кроме того, с помощью QFS прецедента может быть выполнен предварительный анализ эффективности затрат при изменениях, вносимых в производственную схему.

#### Заключение.

Обобщая сказанное можно утверждать, что моделирование сложных систем реального мира в целях управления имеет два основных аспекта: проблему данных и проблему вычислений. Авторы считают, что проблема данных в случае моделирования сложных систем с целью управления в режиме реального времени является первичной, а проблема вычислений — вторичной. Для управления процессами дискретных производств авторы разработали и продолжают разрабатывать модель данных QFS, построенную на концепции MQ, а также предложили систему вычислений MQC для обработки данных QFS для управления процессами дискретных производств.

#### Литература:

1. Бесекаерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекаерский, Е. П. Попов. — 4-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Профессия, 2003. — 752 с.
2. Зирко, О. Ф. Информационная поддержка процессов дискретных производств на основе очередей требований: автореф. дис. на соискание ученой степени кан. техн. наук: 05.13.01 / О. Ф. Зирко. — Минск: БНТУ, 2015. — 22 с.
3. Кудрявцев, В. И., Зирко, О. Ф. Перспективы создания экспортно ориентированной технологии с использованием теории очередей / В. И. Кудрявцев, О. Ф. Зирко // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2015): доклады XIV Международной конференции, Минск, 19 ноября 2015 г. — Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2015. — С. 256–261.
4. Тихоненко, О. М. Модели массового обслуживания в информационных системах: учеб. пособие / О. М. Тихоненко. — Минск: Технопринт, 2003. — 327 с.
5. National Institute of Standards and Technology. Integration Definition For Function Modeling (IDEF0). — Washington: Draft Federal Information, 1993. — 20 p.