DOI: 10.25728/tas.2019.50.3.5

ДВУХКАНАЛЬНЫЕ АКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Буркова И.В.,
(*Институт проблем управления РАН, Москва*)
irbur27@gmail.com
Киселева Т.В.
(*Сибирский государственный индустриальный университет*)
kis@siu.sibsiu.ru

Немного истории. 60-70-ые годы прошлого столетия ознаменовались бурным развитием вычислительной техники, которая стала внедряться на объекты черной металлургии. В частности, появились так называемые «советчики мастера». Требовались специальные стимулирующие меры, чтобы такие системы начали эффективно функционировать. Постепенное осознание этого привело В.П. Авдеева, заведующего кафедрой систем информатики и управления СибГИУ на консультацию к С.В. Емельянову, который тогда был заместителем директора ИАТ (ныне ИПУ РАН). Он и предложил Авдееву В.П. состыковаться с В.Н. Бурковым. Так началось сотрудничество нашей кафедры с В.Н. Бурковым и его лабораторией.

Совместно с лабораторией активных систем (Бурков В.Н., Еналеев А.К.), названной выше кафедрой в лице Авдеева В.П. и Киселевой Т.В., а также представителями лаборатории качества ОАО «Кузнецкий металлургический комбинат» (КМК) в лице Ершова А.А., Строкова И.П. начали разработки систем управления шихтовкой плавки, вначале мартеновской, а потом и электопечи. Разработки вместе с организационным механизмом, включающим стимулирующие функции шихтовщиков, были успешно внедрены на КМК. Разработчики представили систему на ВДНХ и получили медали ВДНХ.

В условиях автоматизации управления производством с использованием вычислительной техники возникла актуальная проблема организации, стимулирования, планирования деятель-ности, регламентации поведения и обучения человека в автоматизированных системах. В связи с этим одной из наиболее важных задач является интеграция традиционно сложившихся на производстве управленческих (планирующих, контролирующих, регулирующих и др.) систем и создаваемых в дополнение к ним АСУ путем совершенствования механизма координации их работы. Решение этой задачи позволило обеспечить условия постепенного формирования качественно новых и эффективных управляющих комплексов. Разработки в этом направлении [1], связанные с совершенствованием систем «оператор – АСУ», названные «советчиками оператора», сначала проводились эвристически для объектов черной металлургии, а затем получили теоретическое и практическое обоснование в исследованиях по многовариантным системам, натурно-математическому моделированию и теории активных систем [2 – 6].

Первые работы [2 - 4, 7, 8], в которых были поставлены вопросы оценивания и стимулирования человеко-машинного взаимодействия в системах типа «советчик оператора» на основе ретроспективного (по предыстории) анализа принятых человеком-технологом и рассчитанных с помощью машинного (компьютерного) канала управляющих решений, послужили началом исследования двухканальных активных систем.

«Советчики оператора» были призваны помогать человеку-технологу, принимающему управленческие решения на объекте, вырабатывать наиболее оптимальные решения. Для повышения эффективности функционирования таких активных систем были предложены многоканальные организационные механизмы, представляющие собой механизмы функционирования автоматизированного комплекса из нескольких взаимосвязанных и действующих параллельно активных каналов выработки управленческих решений и формирования информации. На основе сравнительного анализа достигнутой каналами эффективности их

функционирования и полученных результатов осуществлялось стимулирование людей, входящих в состав активных каналов.

Среди наиболее распространенных двухканальных активных систем можно выделить *пассивный* и *активный «советчики»*.

1. Пассивный «советчик»

Пассивным «советчик» был назван потому, что в такой автоматизированной системе человек-технолог играет пассивную роль по отношению к машинному (модельному) каналу. Модель принятия решений здесь реализуется с помощью УВМ (или компьютера), а поддерживается специалистами – системщиками, постановщиками задач, электронщиками, операторами и т.д. Таким образом, машинный канал также является активным. Схема пассивного «советчика» показана на рисунке 1.

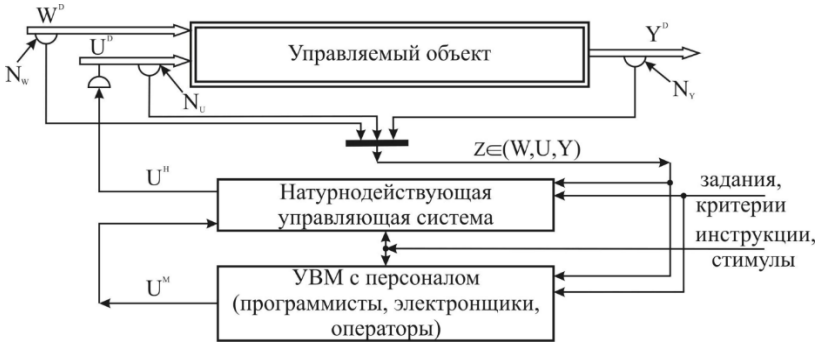

Рисунок 1 – Схема пассивного «советчика»

На рисунке 1 приняты следующие обозначения:

W^D, U^D, (V^D), Y^D – совокупность внешних, управляющих (входных) и выходных воздействий, действительно имеющих место на объекте;

$Z \in (W,\ U,\ Y)$ – те же самые величины, прошедшие через измерительную систему;

N_Y, N_V – измерительные погрешности;

U^M – машинные (модельные, компьютерные) управляющие воздействия, которые вырабатываются с помощью УВМ (или компьютера) и подаются в натурнодействующую управляющую систему в качестве «советов»;

U^H –управляющие воздействия, вырабатываемые человеком-технологом в составе натурнодействующей управляющей системы.

В автоматизированной системе работают параллельно два канала выработки управляющих воздействий: первый канал представлен натурнодействующей (натурной) управляющей системой, в состав которой входит человек-технолог, принимающий решение, а второй канал представлен модельнодействующей (модельной, компьютерной, машинной) управляющей системой, реализуемой с помощью УВМ. Натурнодействующая управляющая система вырабатывает решения и наносит их на реальный (натурный) объект, а модельнодействующая – передает свои решения человеку-технологу в качестве «советов».

Основной недостаток пассивного «советчика» – отсутствие воспроизводящей модели объекта деятельности для замкнутого функционирования модельнодействующей управляющей системы, а также, связи с этим, невозможность оценивания эффективности вырабатываемых ею советов.

Относительно недостатков в организации работы пассивных «советчиков» можно добавить следующее. Использование УВМ в режиме пассивного «советчика» может приводить к низкой эффективности ее функционирования, поскольку вырабатываемые ею решения U^M не проверяются ни в замкнутом контуре, ни в непосредственной работе натурнодействующей управляющей системы. Использование управляющих решений «советчика» в натурнодействующей управляющей системе обычно регламентируется инструкциями, носящими рекомендательный характер, т.е. в виде административных указаний, не подкрепленных четкими стимулами, которые зависели бы от результатов сравнительного анализа эффективности решений U^M и U^H.

Фактически назначаемые администрацией (центром) стимулы для людей, работающих в составе натурнодействующей управляющей системы (ведущий и вспомогательный производственный персонал), имеют ту же природу, что и при отсутствии «советчика». Стимулирование персонала, обслуживающего машинный канал (алгоритмисты, программисты, электронщики, операторы и т.д.), осуществляется за такие косвенные показатели, как время наработки на один отказ электронной аппаратуры; процент «достоверных» решений – советов, определяемый по диапазону отклонений от средних и натурных решений; надежность ввода первичных данных и т.п.

Таким образом, в связи с возможной низкой эффективностью управляющих решений машинного канала, во-первых, и отсутствием зависимости стимулирования персонала от сравнительной эффективности решений U^H, U^M, во-вторых, производственных персонал практически не пользуется рекомендациями «советчика». Этот вывод подтверждается накопленным опытом функционирования АСУ типа «пассивный советчик» на ряде объектов черной металлургии [1, 8 - 11]. Таким образом, режим пассивного «советчика» за отсутствием объединяющего стимулирования людей в составе натурно- и модельнодействующей управляющих систем приводит в большинстве случаев к компьютерной показухе, сильно обособленному функционированию названных управляющих систем.

Подводя итоги сказанному, можно отметить, что такие системы были широко распространены на объектах черной металлургии, но так и не прижились на них по следующим причинам:

1. Пассивная роль человека-технолога по отношения к машинному каналу в силу того, что такой «советчик» был разработан и внедрен без какого-либо участия в этом человека-технолога, как эксперта.

2. Отсутствие у модельнодействующей управляющей системы обратной связи, т.е. отсутствие объекта реализации машинных решений.

3. Использование стимулов, которые имели место до внедрения «советчиков» и недостатком которых является то, что в них

не учитывается новая роль человека-технолога, работающего в составе автоматизированной системы совместно с «советчиком». В таких системах не учитывается степень взаимодействия человека-технолога с машинным (модельным) каналом выработки управленческих решений – советов.

2. Активный «советчик»

Указанные недостатки пассивных «советчиков» в значительной степени удалось преодолеть, благодаря разработке так называемых активных «советчиков». На рисунке 2 приведена упрощенная схема двухканальной системы активного «советчика».

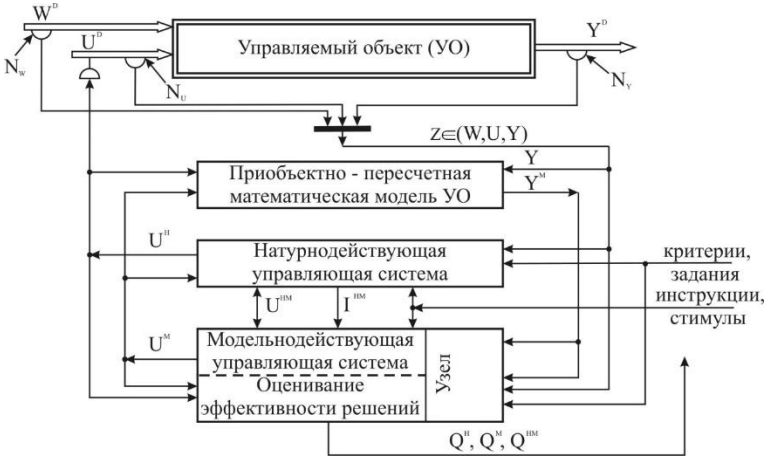

Рисунок 2 – Схема активного «советчика»

Здесь первый канал – это натурнодействующая управляющая система, вырабатывающая натурные решения U^H и подключенная непосредственно к управляемому (натурному) объекту, а второй канал – модельнодействующая управляющая система выработки модельных решений U^M, замкнутая на так называемую приобъектно-пересчетную математическую модель (ПМ) управляемого объекта. *Под приобъектно-пересчетной*

математической моделью здесь понимается модель управляемого объекта, позволяющая по информации о выходе объекта Y, о натурных U^H и модельных U^M управлениях определить модельный выход, т.е. оценку действительной выходной величины объекта, которая реализовалась бы, если бы на вход объекта вместо управлений U^H были поданы управляющие воздействия U^M.

Активным такой «советчик» назван потому, что в этой автоматизированной системе человек-технолог принимал активное участие в формировании модельнодействующей управляющей системы (машинного канала) уже на начальных этапах ее разработки, где он использовался в качестве эксперта.

Наряду с обозначениями, уже расшифрованными при описании схемы пассивного «советчика» (рисунок 1), на рисунке 2 приняты следующие обозначения: I^{HM} - информационный канал, с помощью которого натурно- и модельнодействующая упоравляющие системы могут обмениваться информацией; U^{HM} – совместные натурно-модельные управленческие решения; Y^M – расчетное (с помощью приобъектно-пересчетной математической модели) значение выходной величины объекта, которая отвечает на вопрос: что получилось бы на выходе объекта, если бы, вместо U^H, было нанесено управляющее воздействие U^M, выработанное модельнодействующей управляющей системой (машинным каналом); Q^H, Q^M, U^{HM} – показатели эффективности функционирования натурно- и модельнодействующей управляющих систем, а также совместно выработанных этими каналами решений.

Охарактеризуем функции блоков, которые включены в состав системы активного «советчика».

Приобъектно-пересчетная математическая модель (ПМ) управляемого объекта – комбинированная модель, которая сочетает в себе элементы натурного (реального) объекта и пересчетную математическую модель и позволяет оценить расчетным путем выходную величину объекта, полученную в случае, если бы на вход объекта вместо U^H поступили бы управляющие

воздействия U^M. Методы построения ПМ и примеры будут рассмотрены позже, здесь же в качестве упрощенного примера покажем, как можно оценить Y^M:

(1) $Y^M(i) = Y\ (i) + k[U^M(i) - U^H(i)]$,

где Y – выходная величина объекта; k – коэффициент эквивалентного пересчета величины разности управляющих воздействий, записанной в квадратных скобках, в размер корректировки выходной величины объекта для оценивания Y^M; i – номер отсчета.

Наличие замкнутого на приобъектно-пересчетную модель контура у модельно действующей управляющей системы обеспечивает необходимую самостоятельность функционирования активного «советчика» в различных режимах (адаптации алгоритмов, обучения людей, сравнительного анализа эффективности решений U^H и U^M, выдачи центру оценок эффективности для корректировки стимулов и т.д.).

Таким образом, приобъектно-пересчетная математическая модель играет роль натурно-модельного объекта реализации машинных решений.

В системах с активным «советчиком» предусмотрена возможность выработки совместных натурно-модельных информирующих I^{HM} и управляющих решений U^{HM}. Например, управляющие натурно-модельные решения можно рассчитать по соотношению:

(2) $$U^{HM}(i) = \frac{\alpha^H(i)U^H(i) + \alpha^M(i)U^H(i)}{\alpha^H(i) + \alpha^M(i)}$$

где $\alpha^H(i), \alpha^M(i)$ – весовые коэффициенты для натурно- и модельнодействующих каналов, которые корректируются после каждого i-го процесса по результатам работы соответствующих каналов выработки решений.

Чем выше эффективность работы канала на фиксированном промежутке времени, тем больше его весовой коэффициент. При этом приоритет отдан натурнодействующей управляющей системе, для которой на каждом шаге назначается весовой

коэффициент, а для модельнодействующей управляющей системы коэффициент рассчитывается, исходя из соотношения $\alpha^H(i)+\alpha^M(i)=1$.

Блок оценивания эффективности управленческих решений предназначен для сравнительного оценивания эффективности решений, вырабатываемых рассматриваемыми каналами. По результатам этого оценивания затем назначаются стимулы. В рамках системы с активным «советчиком» в зависимости от вида стимулирующих функций натурный и модельный управляющие каналы могут работать в *следующих режимах:*

- *соревновательный режим,* согласно которому стимулирующие функции для каждого канала имеют следующий вид:

$St^H=\dfrac{Q^H(i)}{Q^M(i)}$ – для натурнодействующей управляющей системы (натурного канала); $St^M=\dfrac{Q^M(i)}{Q^H(i)}$ – для модельно- действующей управляющей системы (модельного или машинного канала), Q^H, Q^M – критерии (показатели) эффективности управляющих каналов.

Из анализа представленных выше функций стимулирования видно, что величина стимула будет тем выше, чем выше числитель функции, т.е. чем эффективнее работает соответствующий канал, тем больше величина его стимулирующего вознаграждения. Однако есть и иной путь повышения стимулирующей функции для каждого канала. Например, не изменяя числитель, можно снижать знаменатель каждого соотношения. Это особенно характерно для натурнодействующей управляющей системы, так как именно человек-технолог, работающий в составе этого канала, может вмешиваться в работу машинного канала, поскольку последний часто вынужден пользоваться информацией, сообщаемой ему натурнодействующуй управляющей системой как наиболее достоверной. Сообщая машинному каналу заведомо ложную информацию, натурный канал, тем самым, будет способствовать снижению эффективности работы машинного канала, имея при

этом максимальное значение своей стимулирующей функции. Отсюда можно сделать следующий вывод: *соревновательный режим* можно реализовать только в том случае, если оба управляющих канала информационно независимы, т.е. могут получать достоверную информацию независимо друг от друга;

- *режим взаимодействия* (взаимосодействия):

(3) $$St^H(i) = K^H(i) + d[1 - \left|K^H(i) - K^M(i)\right|]$$

- для натурнодействующей управляющей системы;

(4) $$St^M(i) = K^M(i) + d\left[1 - \left|K^H(i) - K^M(i)\right|\right]$$

- для модельнодействующей управляющей системы.

Здесь K^H и K^M – нормированные значения показателей эффективности Q^H и Q^M работы управляющих систем, выраженные в относительных единицах, изменяющихся в интервале [0 ÷ 1]; d – весовой коэффициент, который выбирается из диапазона, приближенно равного [0,4 ÷ 0,6].

Проанализируем стимулирующие функции (3), (4). Первая составляющая этих функций напрямую определяет величину стимула: чем выше достигнутый критерий эффективности работы соответствующего канала, тем больше значение стимулирующей функции. Вторая составляющая целиком зависит от того, насколько тесно взаимодействуют друг с другом оба управляющих канала. Если каждый из них стремится не только повысить свой показатель эффективности, но и создать условия для этого второму каналу, вторая составляющая увеличивается, а значит, возрастает значение стимулирующей функции соответствующего канала.

Натурнодействующая управляющая система может поспособствовать повышению эффективности работы модельного управляющего канала путем сообщения ему полной, достоверной и своевременной информации, которая доступна только этой системе; модельнодействующая управляющая система может, в свою очередь, поспособствовать повышению эффективности работы натурного управляющего канала путем сообщения ему более качественных советов, что в нестационарных условиях

работы объекта особенно необходимо человеку-технологу, вырабатывающему управленческие решения.

Кроме процедур сравнительного оценивания эффективности работы управляющих систем в составе активного «советчика», стимулирования и обучения людей в активных каналах организационный механизм может выполнять функции задания самой структуры, целей, критериев и схемы взаимодействия между каналами.

Автоматизированные системы управления с несколькими активными каналами принятия решений являются аналогом широко распространенных и гораздо более изученных технических (автоматических) систем многоканального контроля [10 - 12]. Отличительные особенности систем управления с активными каналами представляются целеустремленным поведением человека в каналах выработки и исполнения решений. Сходство же технических и активных систем вытекает из их предназначения давать требуемые результаты в тех ситуациях, где одноканальные оказываются недостаточно качественными или даже неработоспособными. Такие ситуации часто возникают при оперативном контроле и ведении сложных процессов, в промышленных исследованиях, обучении и стимулировании человека, планировании работы производственных комплексов в условиях нестационарной обстановки.

Кроме процедур сравнительного оценивания эффективности работы каналов, стимулирования и обучения людей в активных каналах, понятие организационного механизма включает также задание самой многоканальной структуры, целей, критериев и схемы взаимодействия между каналами. Если предположить, что отдельные компоненты такие, например, как структура системы, цели системы, критерии эффективности остаются фиксированными, а другие компоненты организационного механизма, в частности, процедуры сравнительного анализа и оценивания эффективности функционирования каналов и функции стимулирования, являются предметом анализа и разработок.

3. Двухканальная система с управляющей нормативной моделью

Функциональная структура типовой активной двухканальной системы управления при некотором заданном организационном механизме характеризуется следующими взаимосвязанными компонентами: а) управляемым натурно-модельным блоком (НМБ) с приобъектно-пересчетной математической моделью (ПМ) для всех каналов выработки решений; б) двумя каналами параллельной выработки информирующих и управляющих решений в замкнутых натурно- или модельнодействующих контурах с участие людей; в) анализирующей системой для сравнительного оценивания и прогнозирования эффективности вырабатываемых решений; г) обучающей и стимулирующей системой для последовательного повышения квалификации людей, качества и эффективности их труда при выработке и исполнении решений; д) координирующим центром, устанавливающим согласованные задания (планы), критерии эффективности функционирования и ограничения по мере накопления сведений и появления новых возможностей теоретического и практического характера, а также участвующих в формировании и совершенствовании самого организационного механизма [13, 14].

Описанная структура, несомненно, имеет теоретические и практические преимущества по сравнению с обычными структурами типа пассивный «советчик».

Рассмотренные выше формы организации человеко-машинного взаимодействия в АСУ и построения таких комплексов в целом нуждаются в дальнейшем развитии с учетом активного поведения человека, многоканальной выработки решений и других принципов теории организационного управления. В условиях существенной нестационарности функционирования реальных объектов и управления ими возникла необходимость построения организационного механизма с замкнутой нормативной моделью в составе модельнодействующей управляющей системы, позволяющей получать хорошо приспособленные к фактическим ситуациям «гибкие» нормативные решения, удовлетворительно

отслеживающие нестационарные изменения обстановки и, тем самым, позволяющие оценить «личный вклад» каждого конкретного человека-технолога в эффективность управления. Без учета названных факторов имеют место неверные, заниженные или завышенные оценки вклада производственного персонала и ошибочные обучающе-стимулирующие воздействия на него. Возможные ошибки тем больше и встречаются тем чаще, чем меньше используется надежной информации о действительных внешних условиях, ресурсах на управление и чем больше нестационарность и последействие в управляемых системах.

Преодоление отмеченных недостатков требует видоизменения традиционных организационных механизмов на основе достоверного отображения динамических производственных ситуаций, в чем и заключается главное назначение второго (нормативного) канала. Кроме того, наличие нормативного канала позволяет в замкнутом режиме обучать и стимулировать организационными воздействиями производственный персонал на основе результатов сравнительного анализа эффективности его фактических решений с нормативными решениями. Причем последние являются не жесткими уставками, а вырабатываются с оперативными прямыми и обратными связями в замкнутом контуре натурно-модельной имитации.

В производственных условиях многие технологические инструкции, регламенты, уставки, задания, планы, нормативы, стандарты, методики, эмпирические и научные методы, задающие и направляющие деятельность человека, могут рассматриваться как своего рода нормативные (эталонные) модели их поведения. Именно на основе их, а точнее в зависимости от отклонений деятельности человека от нормативной модели, как правило, осуществляется обучение и стимулирование человека.

Отметим, что рекомендации «советчика» в автоматизированных системах можно также рассматривать как некоторую нормативную (эталонную) модель и с ее помощью осуществлять стимулирование и обучение основного производственного персонала. Причем стимулирование должно быть таким, чтобы человек-технолог стремился достичь или даже превзойти в лучшую сторону

сопоставляемую ему нормативную модель. Именно эта идея лежит в основе системы с нормативной моделью.

Необходимость организационного механизма системы с замкнутой нормативной моделью вытекает из существенной нестационарности процессов, протекающих в реальных объектах, и условий управления ими, поскольку неадекватными оказываются «жесткие» или редко изменяемые нормативы. На основе же достаточно представительной нормативной модели с замыканием на натурно-модельный объект управления возможно получать хорошо приспособленные к фактическим ситуациям «гибкие» нормативные решения (модели), отслеживающие нестационарные изменения условий работы объекта и, тем самым, позволяющие определить «личный вклад» каждого человека-технолога, участвующего в процессе управления, в достигнутую эффективность.

Необходимо, конечно, осознавать, что любая нормативная модель является частичной, т.е. неполно отражает или воспроизводит желаемую деятельность человека в реальных условиях. Однако удовлетворительную полноту модели можно обеспечить путем создания управляемых (стимулируемых, обучаемых, адаптируемых и т.п.) человеко-модельных комплексов.

Между организационным управлением с нормативной моделью и автоматическим управлением с эталонной моделью имеется определенное сходство. Вместе с тем имеются и значительные различия, обусловленные свойствами «активности», формализованными и исследуемыми в теории активных систем, а также целым рядом других особенностей реальной деятельности человека в условиях сопоставления этой деятельности с нормативными моделями. Для примера укажем следующие свойства и особенности:

- начальное и оперативное обучение человека правилам нормативной деятельности согласно постоянно совершенствуемым (адаптируемым) образцам в виде эталонных моделей;
- возможное косвенное (или даже прямое) участие человека-технолога в построении и реализации нормативных

моделей и, тем самым, возможное целенаправленное воздействие на нормативную модель путем формирования как полезной, так, к сожалению, искаженной информации;

- явное знание человеком решений нормативной модели и сознательное их использование (в том числе путем объединения со своими решениями) или игнорирование их в ходе своей фактической деятельности;
- предвидение и всевозможное предопределение человеком стимулирующих воздействий за фактическую деятельность в сопоставлении с нормативной деятельностью;
- многообразие реальных ситуаций, когда обучение и стимулирование человека направлено на превышение эффективности нормативных решений с привлечением всей доступной информации, личных способностей, коллективного опыта и т.д.

Рассмотрим структуру автоматизированной замкнутой системы с управляющей нормативной моделью (рисунок 3).

В замкнутом (посредством приобъектно-пересчетной модели) контуре нормативного управления вырабатываются совместные информирующие $I^{НМ}$ и управляющие U^{M} решения нормативной модели и рассчитываются соответствующие им выходы Y^{M}.

В основу построения управляющей нормативной модели может быть положен способ восстановительно-прогнозирующего регулирования [15], производственные инструкции и формализованный опыт специалистов-технологов. Приобъектно-пересчетная математическая модель управляемого объекта (ПМ), необходимая для оценивания Y^{M}, может быть построена, например, методом идентификации с прогнозированием рабочих режимов.

Наличие в АСУ нормативного канала позволяет в замкнутом режиме обучать и стимулировать человека, функционирующего в составе натурнодействующей управляющей системы, на основе сравнительного анализа эффективности его фактических решений и эффективности нормативных решений, *которые являются*

не жесткими уставками, а вырабатываются с оперативными прямыми и обратными связями в замкнутом контуре натурно-математической имитации.

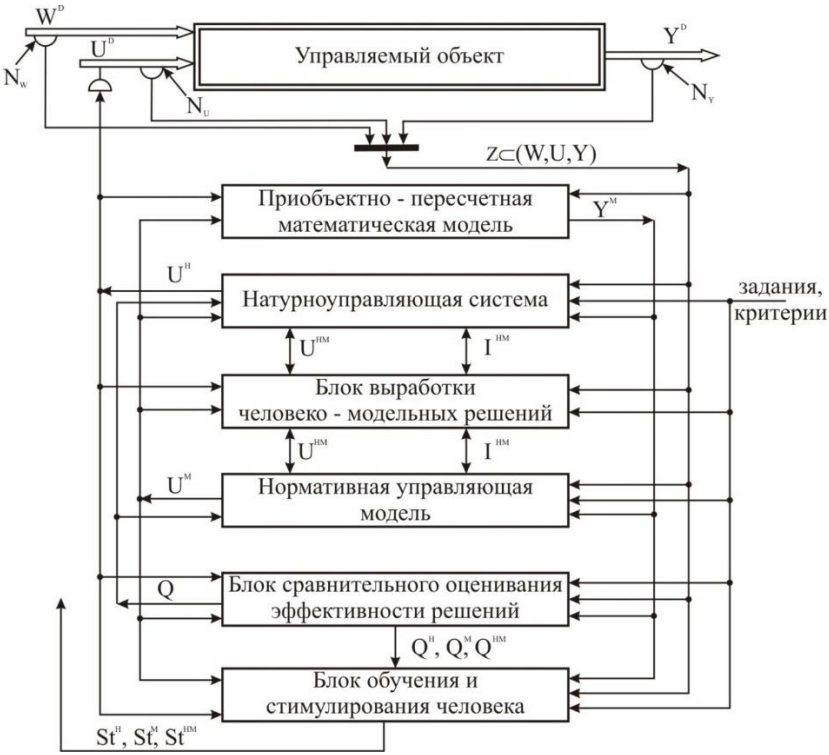

Рисунок 3 – Схема активной системы с нормативной моделью

Дополнительные возможности повышения эффективности работы рассматриваемой системы создаются за счет выработки натурно-модельных (человеко-машинных) информирующих I^{HM} и управляющих U^{HM} решений, которые зачастую оказываются лучше, чем непосредственно нормативные решения $\left\{I^M, U^M\right\} = X^M$. Действующая управляющая система, кроме того,

сообщает в соответствующий блок свои прогнозируемые оценки $(\hat{I}^H, \hat{U}^H)$ тех же решений.

Тем самым натурно-модельные решения являются некоторой функцией от $I^M, U^M, \hat{I}^H, U^H, Y$. Вводится сравнительный анализ эффективности решений с последующей выработкой стимулирующих воздействий *St*.

В общем виде функционирование блоков сравнительного оценивания эффективности решений, обучения и стимулирования человека, а также выработки натурно-модельных решений можно описать следующими соотношениями:

$$X^{HM} = F_X[\hat{X}^H,\ X^M, Z,\ Q^H, Q^M, t],$$

$$Z = \{W, U, Y\},\ X = \{I, U\};$$

$$St = F_{St}[Q^H, Q^M, Q^{HM}, t], \quad t \in [A^t, B^t];$$

$$Q^H = F_Q[Z,\ Z^H, I,\ I^H, t], \quad Z^H = \{U^H,\ Y^H\}; \tag{5}$$

$$Q^M = F_Q[Z, Z^M, I, I^M, t], Z^M = \{U^M, Y^M\};$$

$$Q^{HM} = F_Q[Z, Z^{HM}, I, I^{HM}, t], Z^{HM} = \{U^{HM}, Y^{HM}\},$$

в которых Q^H, Q^M, Q^{HM} – оценки показателей эффективности натурных, модельных (нормативных) и натурно-модельных решений; W, U, Y – измеренные векторы внешних, управляющих и выходных величин объекта; Y^{HM} – расчетные выходные величины в предположении реализации U^{HM}; I – фактические данные, сопоставляемые информирующим решениям; $F_X[\cdot], F_{st}[\cdot] F_Q[\cdot]$ – математические операторы выработки человеко-модельных (машинных) и стимулирующих решений, оценки эффективности решений; *t*-переменная времени; $\lfloor A^t, B^t \rfloor$ – временной интервал функционирования системы.

Таким образом, наличие в автоматизированной системе нормативной модели позволяет выполнять следующие функции:

- оценивать фактический вклад каждого участника в процессе управления для гибкого стимулирования;
- оценивать нестационарные условия функционирования объекта с тем, чтобы выявлять наиболее «тяжелые» периоды его функционирования и поддерживать человека, управляющего процессом, несмотря на полученные им далеко не лучшие результаты;
- обучать неопытный персонал работе в условиях функционирования человеко-машинной системы, в частности, взаимодействию с машинным каналом. Для этих целей нормативная модель строится в виде множества моделей, отличающихся степенью сложности. В начале обучение производится с использованием простых нормативных моделей, которые затем постепенно усложняются до тех пор, пока обучаемый не приобретет навыки работы с самым сложным вариантом модели. При этом сроки обучения, по сравнению с традиционными методами, сокращаются от 1-3 лет, до 1-3 месяцев.

Решая вопрос об адекватности оператора $F_Q[\cdot]$, следует учитывать, что основную неопределенность здесь вносят приобъектно-пересчетные математические модели объекта управления (динамические характеристики каналов регулирования) и погрешности контроля. Анализ чувствительности оператора $F_Q[\cdot]$ в реальных ситуациях к совместным вариациям коэффициентов таких моделей и свойств измеряемых переменных показал приемлемую, с инженерной точки зрения, точность расчетов приращений технико-экономических показателей. Ошибки расчета при наиболее «тяжелых» сочетаниях варьируемых факторов не превышают 15 % от диапазона изменения приращений этих показателей.

Далее приведены примеры построения нормативной и приобъектно-пересчетной математической модели, основные способы сравнительного оценивания эффективности решений (построения оператора $F_Q[\cdot]$), обучения и стимулирования чело-

века (построения оператора $F_{St}[\cdot]$) и выработки натурно-модель-модельных решений (построения оператора $F_X[\cdot]$).

4. Алгоритм построения и функционирования нормативной управляющей модели

Поскольку к нормативной управляющей модели предъявляются высокие требования, согласно которым с помощью ее должны вырабатываться управляющие решения, которые являются предельно эффективными (или близки к таковым) для данного объекта, находящегося в конкретных условиях, вопросам выбора структуры, подхода к построению такой модели уделялось большое внимание.

Рассмотрим пример построения нормативной управляющей модели, в основу которой положен восстановительно-прогнозирующий алгоритм (ВП-алгоритм) [15], суть которого состоит в пересчетном восстановлении ретроспективно образцовых решений и комплексном прогнозировании их динами- ческой последовательности с учетом ее ближайшей предыстории, а также всех контролируемых возмущений и заданий. Кроме того, этот алгоритм дополнен формализованным опытом человека-технолога, принимающего решения в процессе управления технологическим объектом, и качественно соответствует правилам работы ведущих производственников и современным представлениям теории оценивания и регулирования при неполной информации, включая новые типы связей и робастные (стабильные) преобразующие операторы.

Подобные алгоритмы прошли многократную проверку на различных металлургических предприятиях, других объектах и зарекомендовали себя с самой лучшей стороны.

Укрупненная блок-схема алгоритма приведена на рисунке 4.

Подробно остановимся на содержании каждого блока алгоритма.

1. Сбор данных о прошедшем процессе (цикле процесса) и проверка их на достоверность и устойчивость считывания. После окончания очередного процесса (цикла процесса)

считывается вся известная информация о прошедшем технологическом процессе: контролируемые внешние воздействия, задания, принятые и реализованные на объекте управляющие воздействия, а также полученные результаты. Вся поступившая информация проверяется на достоверность и устойчивость считывания.

Рисунок 4 – Укрупненная блок-схема восстановительно-прогнозирующего алгоритма

Целью проверки *информации на достоверность* является выявление и устранение влияния на последующие расчеты аномальных (грубых) погрешностей в данных.

После проверки на достоверность измеренные данные проходят проверку на устойчивость считывания. Такая проверка необходима для выявления обрыва измерительных цепей, поломок датчика или других измерительных средств, локального влияния сильных электромагнитных полей и т.д. и основана на том, что данные об объекте, снятые за короткий промежуток времени, не могут сильно отличаться друг от друга, так как все промышленные объекты являются инерционными.

2. *Ретроспективное восстановление условно-образцовых управляющих воздействий*. В этом блоке, после получения результатов действия нанесенных на объект управлений, расчетным путем восстанавливаются те управляющие воздействия, которые должно были быть нанесены на объект для того, чтобы точно обеспечить попадание выходных результатов процесса в их заданные значения.

Такие управляющие воздействия названы *условно-образцовыми.* По существу, эта процедура является формализованным видоизменением сложившихся приемов так называемого анализа технологии и управленческой деятельности, преследующего цель вскрыть, например, ошибочные решения обслуживающего персонала (человека-технолога), указать постфактум возможные меры их исправления. Конструктивная роль такого анализа не вызывает возражений, так как ощутимо способствует обучению людей, особенно в связи с повторяющимися производственными ситуациями.

Подход к установлению постфактум оптимальных решений расчетной корректировкой их фактических реализаций не является единственно оправданным. Однако для объектов черной металлургии гораздо проще получить эффективные правила исправления уже реализованных управлений, чем для отыскания абсолютных значений оптимальных решений. В последнем случае требуется модель «в большом» для корректировки

фактических управляющих воздействий, если таковые принимаются человеком или автоматом по удовлетворительным правилам.

Для формализованного выполнения операции ретроспективного восстановления следует опираться на процедуры последовательной одношаговой или многошаговой оптимизации [44]. В соответствии с их содержанием отыскивается векторный (многомерный) ряд поправок к фактическим управлениям из условия экстремализации выбранного критерия эффективности для рассматриваемого периода функционирования объекта исследования. При необходимости вводятся разнообразные ограничения на определяемые и заданные значения выходов процесса и на вид, диапазоны и интегральные ресурсы изменения самих управляющих воздействий.

Поскольку в моменты принятия решений многие важные переменные не известны из-за невозможности их контроля либо они измерены с большими ошибками, т.е. решения часто принимаются в условиях неопределенности, вызванной недостаточным объемом известной (контролируемой) информации и значительными ошибками ее контроля, принятые решения могут оказаться не оптимальными для данных условий ведения процесса. Когда же результаты их действия на объекте уже известны, задним числом (по предыстории) расчетным путем можно определить, какие же управляющие воздействия необходимо было нанести, вместо принятых, чтобы точно попасть в заданный результат. Такое восстановление необходимо делать для того, чтобы исключить влияние допущенных ошибок на последующие результаты ведения технологического процесса в условиях неопределенности.

В упрощенном виде восстановление на примере одного управляющего воздействия можно произвести по следующему соотношению:

(6) $U^B(i) = U(i) + k[Y^*(i) - Y(i)],$

где $U^B(i)$ – полученное расчетным путем условно-образцовое решение для *i*-го прошедшего процесса (цикла процесса);

$U(i)$ – реализованное на *i*-ом цикле процесса управляющее воздействие;

$Y^*(i), Y(i)$ – заданная и фактически полученная на *i*-ом цикле процесса (процессе) выходная величина;

k – весовой коэффициент, значение которого целесообразно сопоставлять некоторым качественно характерным условиям функционирования рассматриваемой системы управления.

Наличие такой упрощенной модели объекта оказывается достаточным для приемлемого восстановления оптимальных решений, согласно критериям эффективности, учитывающим отклонения только регулируемых выходов от запрограммированных уровней.

3. *Приведение восстановленных условно-образцовых решений к базовому режиму работы объекта.* Под базовым режимом работы объекта будем понимать такой режим его работы, при котором все контролируемые внешние воздействия находятся на базовых (средних) уровнях. Приведение к базовому режиму можно осуществить по следующему соотношению:

(7) $$U^{Б}(i) = U^{В}(i) + \sum_{j=1}^{J} d_j [W_j(i) - W_j^{Б}],$$

где $W_j(i), W_j^{Б}$ – величина *j*-ого контролируемого внешнего воздействия на *i*-ой плавке и его базовое значение;

d_j – весовые коэффициенты, численные значения которых определяются путем решения задачи идентификации.

Базовые величины внешних воздействий устанавливаются исходя из наиболее часто реализуемых значений этих факторов, либо берутся равными их средним значениям, найденным за определенный период работы объекта; время от времени их необходимо уточнять. Часто базовые уровни контролируемых факторов определяют с помощью достаточно простых, помехозащищенных сглаживающих фильтров, эффективных и удобных для реализации в машинном канале.

Ряд базовых управлений по прошедшим циклам процесса, полученным на определенном отрезке времени, хранится в

памяти машины. Колебания этого ряда обусловлены свойствами и поведением всех не контролируемых внешних воздействий, выраженных в эквиваленте базового управляющего воздействия. Таким образом, можно констатировать, что ряд базовых управлений несет в себе информацию о характере поведения всех не контролируемых внешних воздействий, изучив который можно спрогнозировать его поведение на предстоящие циклы процесса (будущий процесс).

Длина отрезка реализации базовых управляющих воздействий определяется следующими соображениями: длина должна быть достаточно большой для того, чтобы оценить текущие свойства базовых управлений и в дальнейшем спрогнозировать их будущее поведение; с другой стороны, отрезок реализации должен быть ограничен, так как при его слишком большой длине могут начать существенно сказываться на поведение базовых управлений изменившиеся свойства самого объекта.

4. Сглаживание и прогнозирования базовых управлений на будущие циклы процесса. После приведения управляющих воздействий к базовым условиям на определенном скользящем отрезке времени ряд базовых управлений сглаживается, а затем экстраполируется на будущие циклы процесса (будущий процесс). Для сглаживания можно использовать один из наиболее популярных сглаживающих фильтров, например скользящее экспоненциальное среднее (СЭС), а экстраполяцию можно производить простой сдвижкой в будущее сглаженного ряда:

$$\tilde{U}^{Б}(i) = \tilde{U}(i-1) + \alpha[U^{Б}(i) - \tilde{U}^{Б}(i-1)];$$

(8) $$\hat{U}^{Б}(i+1) \overset{\Delta}{=} U^{Б}(i),$$

где α – коэффициент сглаживания;

$\tilde{U}^{Б}(i), \tilde{U}^{Б}(i-1)$ – сглаженные значения базового управляющего воздействия на i-ом и (i-1)-ом отсчетах;

$\hat{U}^{Б}(i+1)$ – прогнозное значение базового управления на предстоящий цикл процесса.

5. Пересчет спрогнозированных базовых управлений на контролируемые условия предстоящего процесса (цикла процесса).

Спрогнозированные базовые управления можно сообщать человеку - технологу, управляющему технологическим процессом, в качестве совета, заострив его внимание на том, что они рассчитаны для базовых условий работы объекта. Если же к этому моменту известны контролируемые внешние воздействия либо их можно спрогнозировать на момент принятия управляющих воздействий, прогнозные значения базовых управляющих воздействий рекомендуется пересчитать с учетом известных на предстоящие циклы процесса внешних воздействий или их оценок. В упрощенном варианте процедуру пересчета можно представить как обратный процесс по сравнению с приведением управляющих воздействий к базовым условиям (соотношение (7)):

$$(9)\quad \hat{U}(i+1) = \hat{U}^{Б}(i+1) - \sum_{j=1}^{J} d_j[\hat{W}_j(i+1) - W_j^{Б}],$$

где $\hat{W}_j(i+1)$ – оценка (прогноз) *j*-ого контролируемого внешнего воздействия на *(i+1)*-ый цикл процесса;

$\hat{U}(i+1)$ – пересчитанное на конкретные условия предстоящего *(i+1)*-ого цикла процесса управляющее воздействие, которое можно рекомендовать человеку-технологу в качестве совета.

6. Проверка полученных управлений на их реализуемость. Прежде чем представить полученное в 5-ом блоке алгоритма управляющее воздействие человеку-технологу, его необходимо проверить на реализуемость. Такую проверку можно осуществить, сравнив полученное управляющее воздействие с его минимально и максимально возможными значениями, т.е. проверить выполнимость неравенства: $U^{\min} \le \hat{U}(i+1) \le U^{\max}$, где $U^{\max}$, $U^{\min}$ - минимально и максимально допустимые значения данного управляющего воздействия. Если неравенство не выполняется, управляющее воздействие является не реализуемым и предоставлять его человеку-технологу в качестве совета не рекомендуется. Если неравенство выполняется, данное управляющее воздействие можно рекомендовать человеку, принимающему решение.

Что же предпринять, если оказалось, что рассчитанное по рассматриваемому алгоритму решение не реализуемо на объекте? В таких случаях необходимо найти эквивалентное ему управляющее воздействие и перераспределить значения между этими решениями так, чтобы они оба стали реализуемыми. После проверки полученных решений на реализуемость можно рекомендовать их человеку, ведущему процесс, в качестве совета.

5. Построение приобъектно-пересчетной математической модели

5.1 ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИОБЪЕКТНО-ПЕРЕСЧЕТНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Поскольку ПМ описывают исследуемые объекты в упрощенном виде, при их использовании необходимо принимать во внимание некоторые особенности, которые отражают свойства приобъектно-пересчетных моделей. Отличие от других моделей и их особенности заключаются в следующем:

1. ПМ работоспособны только в сопряжении с натурным (реальным) объектом, используя его входные и выходные величины;

2. ПМ имеют существенные ограничения на область удовлетворительной точности, отражаемых посредством (V^H, Y^H), в окрестности фактических режимов функционирования действующих НБ;

3. В ПМ имеются явные зависимости определяемых векторов Y^{HM}, V^{HM} от совпадающих или сдвинутых по времени реализаций натурных векторов Y^H, V^H, включающих минимум те же величины;

4. ПМ имеют в общем случае два многомерных (векторных) входных канала, с подключенными к ним на один векторный вход источниками натурных $[V^H, Y^H]$ данных, а на второй вход – модельных $[V^M, Y^M]$ векторов.

5.2 ДВУХУРОВНЕВАЯ СТРУКТУРА ПРИОБЪЕКТНО-ПЕРЕСЧЕТНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

По опыту применения натурно-математического моделирования выявлена необходимость иерархической структуры ПМ с выделением идентифицирующих (анализирующих и перестраивающих) операторов и настраиваемых (пересчетных) операторов результирующего преобразования приращений входных и выходных переменных.

Структура двухуровневой приобъектно-пересчетной модели приведена на рисунке 5.

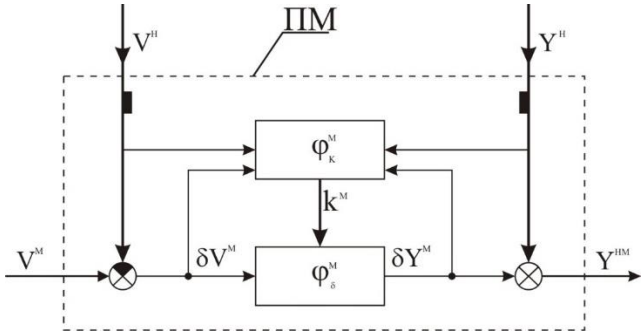

Рисунок 5 – Структура двухуровневой приобъектно-пересчетной модели

Верхний уровень ПМ представлен настроечно-идентифицирующим (с адаптацией) алгоритмом, а нижний – разностным (в приращениях) пересчетным алгоритмом.

На рисунке 5 приняты следующие обозначения:

ϕ_{δ}^{M} – разностный пересчетный оператор с вариантностью по воздействиям, который служит для преобразования отклонений (приращений) входных и выходных переменных;

ϕ_{K}^{M} – настроечно-идентифицирующий (с адаптацией) оператор, с помощью которого производятся изменения (уточнения) коэффициентов k^{M} и связей в составе ϕ_{δ}^{M} ;

k^M – параметрические (коэффициентные) и структурно-параметрические настройки.

Зачерненные прямоугольники на схеме условно обозначают базы данных $\{V^H, Y^H\}$ в сочетании с модельными и натурно-модельными данными $\{V^M, Y^{HM}\}$.

Настраиваемые операторы ϕ_δ^M, отображающие в приращениях фактические и условно измененные свойства преобразующих каналов НБ, подвержены формируемым в идентифицирующем операторе ϕ_k^M структурно-параметрическим воздействиям в виде вектора k^M. В относительно узких подобластях варьирования натурных и модельных величин приемлемо представление преобразующих каналов технологических процессов передаточными функциями инерционных и запаздывающих, а также интегральных звеньев с отсечкой (конечной памятью). Со сменой режимов коэффициенты этих звеньев подлежат под- настройке, например, в пропорциональной зависимости от уровней V^H, Y^H.

Необходимо заострить внимание на том, что в ПМ приращения модельных переменных берутся относительно фактических реализаций входов и выходов НБ, а не по отношению к некоторым стационарным режимам, средним уровням, опорным траекториям, и это требует количественного анализа при перенесении результатов из одной подобласти в другую.

Конкретизируя относительно простую приобъектно-пересчетную математическую модель на примере обобщенных пропорционально-разностных соотношений между изменениями входных и выходных величин в приращениях к их фактическим значениям, для двухслойного операторного блока можно записать следующие выражения:

(10) $\delta Y_i^M = \sum_{j=1}^{J} k_{ij} \delta V_j^M, \; Y_i^{HM} = Y_i^H + \delta Y_i^M,$

(11) $k_{ij} = k_{ij}^*[1 + a_{ij}^* \exp(-b_{ij}^* Y_X^H Y_X^M)],$

где YX – характеристическая выходная величина (первичная или комплексная), используемая и как показатель состояния, определяющий нелинейность объекта;

δV_j^M – модельно задаваемые изменения j-ой величины во входном модельном векторе;

V^M; δV_j^M – модельно задаваемые изменения j-ой величины во входном модельном векторе V^M;

δY_i^M – расчетное изменение i-ой величины в выходном модельном векторе Y_i^{HM} (сокращенно, выходном модельном векторе Y_i^M);

$k_{ij}^*, a_{ij}^*, b_{ij}^*$ – настроечные коэффициенты, устанавливаемые для конкретного комплекса условий и уточняемые по ходу идентификации реального объекта.

Выражение (10) реализуется математическим оператором ϕ_δ^M нижнего уровня двухуровневой иерархической структуры ПМ, а выражение (11) – математическим оператором верхнего уровня ϕ_K^M.

Рассмотренная версия ПМ в виде соотношений (10), (11) или приближенно эквивалентной дробно-рациональной форме соответствует многим технологическим и организационно-технологическим объектам, включая объекты черной металлургии, а также биологическим, социальным, экономическим системам при наличии «эффекта попарных состояний с пределом».

6. Построение и описание блока сравнительного оценивания эффективности решений

Для блока сравнительного оценивания эффективности решений ведущая роль отведена достоверному оцениванию показателей эффективности управляющих решений с обязательным количественным сопоставлением их, как минимум, по двум каналам.

Сравнительный анализ решений опирается на пересчетную имитацию с нанесением открытых и скрытых пробных сигналов, обработку полученных данных посредством робастных фильтров и идентификаторов, локальные и комплексные критерии эффективности функционирования параллельно работающих управляющих каналов и других звеньев, а также системы в целом.

С целью улучшения межканальных взаимодействий введены обобщенные (интегративные) показатели эффективности, которые для управляющей системы с нормативной моделью могут быть записаны:

(12) $K_{\Sigma}^{H}(i) = K^{H}(i) + d^{H}\left(1 - \left|K^{H}(i) - K^{M}(i)\right|\right)$,

(13) $K_{\Sigma}^{M}(i) = K^{M}(i) + d^{M}\left(1 - \left|K^{H}(i) - K^{M}(i)\right|\right)$,

где $K^{H}(i), K^{M}(i)$ – нормированные значения (изменяющиеся в диапазоне от 0 до 1) показателей эффективности для *i*-ого цикла вырабатываемых решений в натурнозамкнутом и модельнозамкнутом (нормативной модели) каналах принятия решений;

d^{H}, d^{M} – настроечные коэффициенты со средним уровнем, примерно равным 0,5.

При стимулировании по такого рода обобщенным показателям, наибольшая величина стимула получается в случае достижения максимальных показателей эффективности совместно обоими управляющими каналами. Подобно (12), (13) обобщенные показатели могут быть установлены для любого числа параллельно функционирующих каналов.

Приведенные обобщенные показатели (12) и (13) обеспечивают эффективное взаимодействие названных выше активных каналов принятия решений с постоянным заинтересованным анализом их динамики. В пропорции от усредненных за установленные периоды времени значений $K^{H}(i), K^{M}(i)$ назначаются стимулирующие воздействия со значительным интервалом их изменения в денежном выражении.

Таким образом, можно резюмировать, что наиболее эффективными являются двухканальные автоматизированные системы с нормативной моделью, так как они наилучшим образом могут

учитывать конкретный вклад каждого человека-технолога, участвующего в процессе принятий решений, а не стимулировать бригаду в целом; могут выявлять и учитывать нестационарную обстановку, сложившуюся на объекте, и обучать молодых специалистов искусству управления за более короткий временной отрезок. Предложенный организационный механизм учитывает не только вклад в полученные результаты отдельных людей, но и то, насколько эффективно человек-технолог взаимодействовал с машинным каналом (нормативной моделью).

Литература

1. *Многоканальные организационные механизмы (опыт применения в АСУ)*: препринт / В.П. АВДЕЕВ, В.Н. БУРКОВ, А.К. ЕНАЛЕЕВ, Т.В. КИСЕЛЕВА. – М.: ИПУ РАН, 1986. – 43 с.
2. *Стимулирование человека-оператора в условиях АСУТП* / В.П. АВДЕЕВ, А.К. ЕНАЛЕЕВ, Л.П. МЫШЛЯЕВ, В.И. ОПОЙЦЕВ // Механизмы функционирования организационных систем. Теория и приложения: сб. трудов. – М.: ИПУ РАН, 1982. – С. 66 – 75.
3. *Организационное управление с использованием нормативной модели* / В.П. АВДЕЕВ, В.Н. БУРКОВ, А.К. ЕНАЛЕЕВ и др. // Синтез механизмов управления сложными системами: сб. трудов. – М.: ИПУ РАН, 1980. – С. 15 – 23.
4. *К развитию человеко-машинного взаимодействия в АСУ* / В.Н. БУРКОВ, В.П. АВДЕЕВ, Л.П. МЫШЛЯЕВ и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1980. – № 4. – С. 103 – 108.
5. ЕНАЛЕЕВ, А.К. *Стимулирование эффективности управления производственными процессами* / А.К. ЕНАЛЕЕВ, Г.У. КАЗАХБАЕВА. // Вопросы создания АСУТП и АСУП: сб. трудов. – Алма-Ата: изд. КазПТИ, 1989. – С. 19 – 24.
6. *Модель многоканального организационного механизма управления металлургическим производством* / В.Н. БУРКОВ, А.В. ПИНТОВ, Т.В. КИСЕЛЕВА, В.Н. ТЕЖИКОВ // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1985. – № 2. – С. 114 – 122.
7. *Оперативный анализ и стимулирование человеко-машинного взаимодействия в промышленных системах* / В.П. АВДЕЕВ, А.А. БЕЛОСТОЦКИЙ, Л.П. МЫШЛЯЕВ и др. // Приборы и системы управления. – 1978. – № 1. – С. 10 – 12.

8. *К развитию человеко-машинного взаимодействия в АСУ* / В.Н. БУРКОВ, В.П. АВДЕЕВ, Л.П. МЫШЛЯЕВ и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1980. – № 4. – С. 103 – 108.
9. БУРКОВ, В.Н. *Механизмы функционирования организационных систем* / В.Н. БУРКОВ. – М.: Наука, 1981. – 384 с.
10. НОВИКОВ, Д.А. *Механизмы стимулирования в многоэлементных организационных системах* / Д.А. НОВИКОВ, А.В. ЦВЕТКОВ. – М.: Апостроф, 2000. – 184 с.
11. *Опыт многоканальной организации управления шихтовкой мартеновских плавок* / Н.А. ФОМИН, Н.С. ЮДИН, Т.В. КИСЕЛЕВА и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1985. – № 4. – С. 114 – 121.
12. *Двухканальная активная система с переменной структурой* / В.П. АВДЕЕВ, В.Н. БУРКОВ, А.В. ПИНТОВ и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1982. – № 8. – С. 100 – 106.
13. БУРКОВ, В.Н. *Введение в теорию активных систем* / В.Н. БУРКОВ, Д.А. НОВИКОВ. – М., 1996. – 124 с.
14. КИСЕЛЕВА, Т.В. *Теория организационно-экономических механизмов* / Т.В. КИСЕЛЕВА, Г.А. БЕГИШЕВ. – Новокузнецк, 1999. – 115 с.
15. КИСЕЛЕВА, Т.В. Теория и практика организационно-экономических механизмов / Т.В. КИСЕЛЕВА. – Новокузнецк: изд. центр СибГИУ, 2011. – 125 с.
16. *Восстановительно-прогнозирующая система управления: учебное пособие* / В.П. АВДЕЕВ, В.Я. КАРТАШОВ, Л.П. МЫШЛЯЕВ, А.А. ЕРШОВ. – Кемерово, 1984. – 90 с.