

И. Г. Соловьев

ГИБКИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НЕФТЕДОБЫЧИ. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ И СИСТЕМНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Анализируются особенности современного состояния и факторы, влияющие на развитие нефтяной отрасли. Рассматриваются пути совершенствования схем управления на основе комплексной автоматизации функций проектирования их последовательным совмещением с этапами эксплуатации.

Пути и средства совершенствования управлениями технологии нефтедобычи

Переход к методам рыночного хозяйствования и, как следствие, децентрализация в стране материальных ресурсов, потеря единых механизмов отраслевого регулирования, с одной стороны, а с другой — существенное усиление финансово-экономических факторов управления радикально изменили взгляды на цели и задачи развития нефтяной отрасли.

При масштабном развале промышленности, нестабильности государственной власти переходного периода, механизмы, системы и средства финансово-экономического управления в нефтяных компаниях и на предприятиях получили качественное развитие [8].

Инструментальной основой управления выступают корпоративные информационные ресурсы предприятия на верхних этажах управления [10, 25] и связанные с ними системы и средства локальной цифровой автоматики, информационно-измерительной техники на уровне технологических процессов [9, 16]. Современные технологии нефтедобычи (ТН) все больше используют подсистемы, узлы и звенья с регулируемой производительностью. **Таким образом, потенциал управляемости технологических комплексов нефтедобычи (ТКН) достиг в настоящее время качественно нового уровня. Вопрос лишь в том, в какой степени и с какой эффективностью этот потенциал используется.**

Проблемы повышения эффективности ТН всегда являлись темой многочисленных работ и дискуссий в научных [23] и промышленных [15] кругах. Механизмы совершенствования ТН на основе системной интеграции задач нефтепромысловой геологии, подземной гидрогазодинамики, технологий бурения и эксплуатации скважин, систем транспортировки и подготовки нефти к транспорту активно обсуждались в работах [4, 5].

Жесткие условия рентабельности малых и/или низкопродуктивных месторождений уже сейчас требуют комплексной инвентаризации взглядов на типовые регламенты [17] проектирования систем разработки, обустройства и эксплуатации месторождений [1, 3].

Данная работа посвящена обоснованию путей и средств комплексного совершенствования ТН на основе системных принципов организации крупномасштабных автоматизированных систем управления (АСУ). В отличие от системной интеграции функций проектирования [5], в этой работе исследуются схемы комплексирования задач разработки, обустройства и эксплуатации в единую автоматизированную технологию нефтедобычи реального времени.

Говоря о проблемах обеспечения эффективности автоматизированных ТН, отметим следующее:

1. Управление ТКН осложнено многофакторным, крупномасштабным характером организации нефтедобывающего предприятия с огромными объемами вложений в капитальное строительство, материалы, труд, значительной территориальной распределенностью объекта разработки, как правило, удаленностью от транспортных магистралей и населенных пунктов. Для месторождений Западной Сибири характерны большие затраты средств, связанные с природно-климатическими и эколого-географическими условиями. Кроме этого, управление нефтедобывающим предприятием осуществляется всякий раз со **значительной долей риска от факторов неопределенности описания моделей эксплуатационных объектов (объем, содержание, структура, вид и параметры залежей) и внешней среды (цены, налоги, акцизы, рэкет и т. п.)**.

2. Потенциалы эффективности действующих АСУ ТН ограничены упрощенной и, по существу, неверной трактовкой подходов к их построению. Задачи автоматизации по факту отделены от фундаментальных вопросов управления разработкой и обустройством месторождений. Системы автоматики выполняют локальные функции действующего регламента, отвечая эксплуатационным потребностям технологических линий и процессов. Интегрированные информационные системы предприятий и реализованные на их основе АСУ ТН развиваются как системы сервисов, предоставляя широкие возможности [10] для оперативного, в том числе дистанционного, контроля, учета, противоаварийной безопасности, связи и анализа.

Отмечая важность «сервисов», сложившиеся подходы к построению АСУ ТН нельзя признать правильными. Всякая автоматизация должна рассматриваться как средство совершенствования технологии нефтедобычи, повышения ее эффективности на всех уровнях и стадиях управления [2].

Главные показатели эффективности ТКН традиционно включают [6]:

- производительность;
- нефтеотдачу;
- суммарные затраты.

Локальные критерии эффективности систем и средств автоматики [9] образуются показателями:

- качество выходного продукта;

- оперативность, функциональность и масштабность диспетчерской службы;
- противоаварийная безопасность;
- минимальность вовлечения персонала в управление механизмами и агрегатами как в штатных, так и в нештатных ситуациях.

Однако внедрение автоматизированных технологий влечет дополнительные расходы:

1. Эксплуатационные затраты на высококвалифицированное обслуживание автоматизированных комплексов.
2. Капитальные вложения на приобретение и обустройство приборами, цифровой канальной, телеметрической и вычислительной техникой.
3. Обеспечение дополнительной комфортности, гарантирующей эксплуатационную надежность работы схем автоматики в полевых условиях.
4. Существенные вложения на разработку, реализацию, освоение и эксплуатацию корпоративных информационных ресурсов и сервисов предприятия.

Изложенное еще раз подчеркивает то обстоятельство, что задачи информатизации и АСУ ТН нельзя рассматривать отдельно от вопросов эффективного конструирования собственно технологий нефтедобычи.

Среди многочисленных направлений совершенствования ТН, связанных с новыми методами воздействий на пласт [20], применением разветвленно-горизонтальных скважин [23], созданием и использованием новых высокопроизводительных, надежных и экономичных технологических линий и машин, выделим направление с **потенциалами системно-организационного характера**. Суть задач данного направления сводится к рациональной пооперационной компоновке и оперативной перекомпоновке и/или настройке технологических операций во времени в зависимости от условий и результатов эксплуатации. При этом набор операций, регулируемых технологических линий, их мощности и диапазоны настроек априорно определены и ограничены.

Качественные и количественные показатели нефтедобычи закладываются на этапе проектирования системы разработки и подтверждаются (или не подтверждаются) на этапе эксплуатации. В случае несоответствия проектных и фактических показателей возникает вопрос об их устранении, что требует анализа причин несоответствия. Причины условно могут быть разделены на субъективные — явные недочеты в проектировании и эксплуатации (неучет взаимовлияний групп факторов, неверный подбор оборудования и т. п.) и объективные — обусловленные **факторами неопределенности**.

- На стадии разработки главная неопределенность связана с моделью залежи (распределение запасов по площади, структура строения, этажность, подвижность флюида и т. п.).
- Фактор неопределенности имеет место при отработке новых технологий, например режимов эксплуатации горизонтальных скважин, погружных насосов с регулируемой производительностью и т. д.
- В период эксплуатации существенная доля неопределенности сопряжена с рабочими ресурсами действующего оборудования и динамикой их освоения.
- Интенсивность фондоосвоения при обустройстве и эксплуатации месторождений зависит от неопределенности факторов внешней среды, к которым относят: цены, налоги, акцизы и иные силовые претензии со стороны конкурентов и властей.

Перечисленные факторы нельзя устранить, их можно только учитывать.

Создание эксплуатационных систем, работающих в условиях начальной неопределенности, является сложной задачей, но именно в этой задаче скрыты значительные ресурсы повышения эффективности ТН.

Существует два подхода к построению систем управления (эксплуатации) в условиях неопределенности.

Первый подход базируется на методике создания «прочных» стратегий управления [11]. Основное содержание его сводится к обеспечению максимального эффекта в возможно наихудшей ситуации. По данной схеме уже на стадии проектирования вводится некоторая мера начальной неопределенности. В результате проектирования дается алгоритм разработки с «запасом», покрывающим данную меру начальной неопределенности.

Второй подход использует принцип обратной связи. Он предполагает непрерывную оценку отклонений состояния технологического процесса от номинального и последующую коррекцию алгоритма эксплуатации с целью компенсации возникающих рассогласований.

И тот и другой подходы имеют свои достоинства и недостатки. Так, в жестких схемах перспективного планирования методика гарантированного выигрыша (первый подход) оказывается более предпочтительной. По данной схеме проще проследить всю эволюцию процесса эксплуатации и, следовательно, проще назначить его алгоритм. Однако то, что удобно в расчетах, может стать неудобным на практике. Дело в том, что объем «запаса», необходимый для обеспечения «гарантированного выигрыша», в условиях значительной начальной неопределенности и интенсификации всего процесса нефтедобычи оказывается слишком большим. Поэтому принципам и задачам создания замкнутых технологий эксплуатации начинают уделять все большее внимание [3, 18].

Рассмотрим особенности организации технологий замкнутого типа. Как уже оговаривалось, основная отличительная черта такой технологии — в периодической коррекции алгоритма эксплуатации. По сути, система эксплуатации работает итеративно с периодической самонастройкой. Механизм функционирования ее на каждой итерации включает следующие этапы:

- контроль текущего состояния технологического процесса нефтедобычи;

- оценка отклонений от проектных и номинальных показателей эксплуатации;
- анализ по отклонениям возмущающих факторов;
- выработка и реализация параметрической коррекции алгоритма эксплуатации и/или коррекция самих показателей эксплуатации.

Любой алгоритм разработки и эксплуатации месторождения предполагает периодическую коррекцию по вышеприведенным этапам. Однако эффективность такой коррекции зависит от того, с каким интервалом времени она реализуется. Всякий нерациональный режим эксплуатации чаще ведет к двойным потерям: в нефти (уменьшение коэффициента нефтеотдачи) и в непроизводительных расходах материальных средств. Поэтому эффективность системы эксплуатации будет тем выше, чем меньше интервал коррекции. Фактическая реализация самонастраивающейся технологии требует решения комплекса вопросов алгоритмического и технического обеспечения системы. Действительно, быстрая выработка правил коррекции предусматривает оперативный контроль и обработку большого объема геолого-промысловой, технологической информации и непрерывную выдачу управляющих воздействий. Такую схему эксплуатации возможно реализовать лишь в автоматическом или автоматизированном режиме на основе использования широкой сети информационно-измерительных управляющих вычислительных средств, регулируемого технологического оборудования и интегрированных информационных ресурсов.

Именно в таком подходе заключаются критерии эффективности внедрения систем и средств автоматизации.

Самонастраивающаяся технология воплощает замкнутый принцип оперативного управления и обладает важным свойством — гибкостью [22]. Вышеизложенное представляет развернутое определение гибкой автоматизированной технологии нефтедобычи (ГАТН). Более кратко определим ее следующим образом.

ГАТН — это технология нефтедобычи, способная оперативно (автоматически или автоматизированно) подстраиваться под реальные условия залегания пласта с учетом текущего состояния эксплуатационного оборудования, вспомогательных служб и производств с целью обеспечения заданной производительности с возможно большим коэффициентом нефтеотдачи при экономном расходе ресурсов и производственных мощностей.

Системные принципы организации ГАТН

Далее на уровне системных понятий рассмотрен подход к построению ГАТН. В основе анализа лежит простая идея о том, что **переход к высокоэффективным технологиям может осуществляться на основе частичного переноса функций проектирования системы разработки и обустройства непосредственно на этап реальной эксплуатации**. В этом случае очередная коррекция алгоритма эксплуатации может рассматриваться как шаг «малого» проектирования. Для определения и обоснования принципов создания ГАТН необходимо обратиться к трем вопросам: 1) как строится функциональная структура самой системы проектирования; 2) как создается структура эксплуатационных систем управления; 3) в чем заключаются основные отличительные особенности организации систем и процессов управления на этапе проектирования и эксплуатации.

При проектировании системы разработки и обустройства месторождения воссоздаются основные звенья модели процесса эксплуатации. Иными словами, по данной модели можно воспроизвести и оценить всю эволюцию процесса эксплуатации месторождения. Следовательно, разрешая задачу проектирования, мы тем самым разрешаем задачу управления. Но управление в проекте и управление при эксплуатации различаются в той же мере, в какой модели отличаются от реальной действительности. Кроме того, реальные проекты разработки и обустройств оставляют значительные свободы их фактической реализации при эксплуатации.

Определим основные этапы создания любых систем управления. В самом общем понимании система управления осуществляет целенаправленную деятельность [13, 19]. Деятельность эта направлена на объект, а исходит от регулятора, реализующего алгоритм управления. Следовательно, любая система с целевым назначением может быть определена тремя понятиями: объект управления, цель управления и алгоритм управления. На этапе проектирования система управления существует в виде образов или моделей, в то время как на этапе эксплуатации объект и алгоритм существуют реально, а целевые показатели могут действительно просчитываться по данным эксплуатации. Таким образом, чтобы спроектировать систему, необходимо [21]:

1. Построить модель объекта эксплуатации, т. е. назначить входы и выходы, связывающие объект с внешней средой. Выделить из них группу управляемых входов и группу выходов, относительно которых назначаются цели управления. Установить количественную связь между выделенными группами входов и выходов.
2. В терминах входов и выходов объекта назначить формально целевое условие управления.
3. Выработать алгоритм (правило) достижения цели на заданной модели объекта.

Так как в дальнейшем мы будем часто обращаться к такой формализации системы управления, введем обозначения для объекта управления — \mathcal{P} , цели управления — J , алгоритма управления — \mathcal{D} . Модель объекта устанавливает связь следующего содержания:

$$y = \mathcal{P}(u, g, \xi, t), \quad (1)$$

где y — вектор выходных координат объекта; u — вектор управляемых входов; g — вектор

неуправляемых, но наблюдаемых входов (со стороны внешней среды); ζ^k — вектор случайных воздействий;
 t — координаты времени.

Цель управления может назначаться следующей группой соотношений:

- стабилизация (например, плановых показателей нефтедобычи)

$$J_1(y, u, g) = 0, \quad (2)$$

- ограничение или принадлежность (ограничения на затраты фондов, средств, энергии)

$$J_2(y, u, g) \leq 0,$$

- оптимизация (максимизация коэффициента нефтеотдачи и т. п.)

$$J_3(y, u, g) \rightarrow \text{ext.}$$

Алгоритм управления устанавливает правило воздействия на объект \mathcal{P} с целью обеспечения условия J . В простейшем случае алгоритм задается отношением

$$u = \mathcal{G}(t). \quad (3)$$

Основная задача процесса проектирования системы разработки и обустройства и, как следствие, всей системы эксплуатации месторождения заключается в определении алгоритма \mathcal{G} , доставляющего цель J на модели \mathcal{P} . Отсюда основную функцию проектирования можно отразить соотношением

$$\mathcal{G} = p(\mathcal{P}, J). \quad (4)$$

Если сложность задач управления любого класса оценивать через ее размерность, т. е. количество исходных (входных) данных и количество определяемых в результате решения выходных данных, то задача проектирования системы эксплуатации нефтяного месторождения относится к сверхсложным. Основное противоречие и трудность построения решения (4) таких задач заключается в необходимости учета общих закономерностей управляемых процессов и их многочисленных частных проявлений [12]. Разрешить это противоречие можно иерархической субординацией задач проектирования. При этом общая задача p создания алгоритма \mathcal{G} распадается на группы взаимоподчиненных задач π_i меньшей размерности:

$$\pi = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_l\},$$

каждая из которых воссоздает модель системы управления $(\mathcal{P}_i, J_i, \mathcal{G}_i)$ своего i -го уровня.

Способы иерархического разбиения всей системы на подсистемы могут отражать различные цели. В нашем случае разбиение будет соответствовать уровням общностей описания технологии нефтедобычи (стратификация).

Например, если на верхнем уровне иерархии системы разработки создаются балансовые модели технологии, устанавливающие связи между интегральными показателями объемов закачки, отбора, энергии, материальных средств труда и времени, то последующий уровень будет учитывать геометрию (размеры в плане и в разрезе) эксплуатационных объектов и наземные географические условия. Здесь уже решаются задачи распределения отборов и закачки, основных фондов, оборудования, их мощностей, коммуникаций и т. д. по площадям. На последующем уровне конкретизируется система заводнения и сетка скважин. Устанавливается динамика разбухания, осуществляется кустование, конкретизируется сетка дорог, линий электропередач, внутрипромысловых коллекторов, водоводов и т. д. Уровнем ниже решаются задачи управления отборами с эксплуатационных участков, устанавливаются режимы и технология эксплуатации скважин и всего наземного оборудования (дожимные насосные и компрессорные станции и т. д.). Самый нижний иерархический уровень контролирует и управляет режимами работы конкретных устройств технологического оборудования в системе нефтедобычи. Это могут быть станции управления штанговыми и глубинными насосами, регулируемые штуцеры, отсечные клапаны, регуляторы уровня, замерные установки и многое другое.

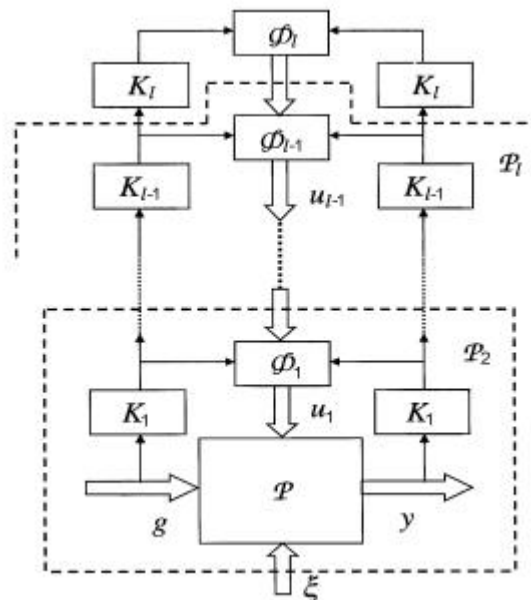


Рис. 1. Иерархическая схема организации ГАТН

Важно заметить, что разбиение задач проектирования системы разработки и обустройства по уровням неоднозначно и зависит от сложившихся традиций и структуры отделов проектных организаций, а также от организационной структуры эксплуатационных организаций. Однако в любом случае для иерархически построенных систем обязательны два признака. Первый — директивный характер прямых связей (сверху вниз). Второй — информативный характер обратных связей (снизу вверх).

Последнее означает, что алгоритм управления верхнего уровня ϕ_i определяет условия, в которых должен строиться алгоритм последующего уровня ϕ_{i-1} . В то же время фактическое достижение цели i -го уровня J_i осуществляется в той мере, в которой обеспечиваются цели нижележащих уровней J_{i-1} .

Информация о состоянии процессов управления нижних уровней, а следовательно, и о $J_{k < i}$ поступает на уровень i по обратным связям.

Если соответствующую иерархическую организацию системы управления, созданную на стадии проектирования, перенести на стадию эксплуатации и замкнуть ее обратные связи по соответствующим уровням принятых решений p_i , то в результате придем к начальному представлению базовой структуры ГАТН (рис. 1). На рисунке показана l -уровневая иерархическая структура системы управления с явно выделенными регуляторами уровней ϕ_j и информационными координаторами в обратных связях K_j . Основная функция координаторов — агрегирование, или объединение детальной информации низшего уровня в обобщенные показатели последующего. На рисунке также поясняется, как структурно интерпретировать объект управления любого уровня.

Дальнейший анализ сводится к двум вопросам: 1) как создавать алгоритмы управления любого уровня с учетом обратных связей; 2) в какой степени функции проектирования могут быть перенесены на этап эксплуатации.

Обратимся к первому вопросу. Нами будет установлена функциональная структура алгоритма ϕ_j , включающая три уровня принятия решений. Рассмотрим вначале структуру системы управления с одноуровневым алгоритмом. Алгоритм с координатными обратными связями имеет следующее описание:

$$u = \mathcal{G}(y, g, t). \quad (5)$$

В отличие от алгоритмов разомкнутого типа (3), система управления с координатными обратными связями обладает более высокими качественными показателями в достижении цели при наличии возмущающих факторов. В частности, алгоритм (5) позволяет обрабатывать контролируемые внешние воздействия — q , частично компенсирует отклонения выхода объекта y от номинального состояния из-за неточности описания объекта управления, действия случайных факторов среды x . Методы синтеза замкнутых законов управления вида (5) достаточно развиты в классической теории автоматического управления [14] и нами рассматриваться не будут. Более высокоорганизованную ступень образуют системы с операторными обратными связями [7]. Для обоснования закона управления такого типа запишем уравнение (5) с учетом (4) в виде (индекс i соответствующего уровня иерархии будем опускать)

$$u = p(\mathcal{P}_0, J_0 \zeta y, g, t), \quad (6)$$

где явно выделена функция проектирования p . Если как J_0 обозначить расчетные показатели эксплуатации, получаемые в предположении, что объект имеет описание \mathcal{P}_0 , а алгоритм задается как $\mathcal{P}_0 = p(\mathcal{P}_0, J_0)$, то в случае полного совпадения расчетной модели объекта \mathcal{P}_0 и реальной \mathcal{P} алгоритм \mathcal{P} (6) обеспечит достижение расчетной цели управления $J = J_0$. Здесь J — реальный целевой показатель эксплуатации. В противном случае ($\mathcal{P} \neq \mathcal{P}_0$) получаем невязку в целевом условии $J - J_0 \neq 0$.

Очевидно, закон управления можно сделать более гибким, если в регуляторе (6) вместо фиксированного расчетного оператора модели объекта вставить настраиваемый оператор $R_{\mathcal{P}}$:

$$u = p(R_{\mathcal{P}}, J_0 \zeta y, g, t). \quad (7)$$

В результате приходим к искомой структуре регулятора, который помимо координатных связей имеет и операторные. Если из условия $R_{\mathcal{P}} \approx \mathcal{P}$ следует $J \approx J_0$, то мера рассогласований

$$e_J = \|J - J_0\|$$

становится эквивалентной оценкой мере разности операторов

$$e_{\mathcal{P}} = \|R_{\mathcal{P}} - \mathcal{P}\|.$$

Отсюда алгоритм самонастройки операторной связи следует искать на решениях задачи минимизации e_J , т. е.

$$R_{\mathcal{P}} = \arg \min e_J.$$

Решение этой задачи реализуется вторым уровнем управления

$$R_{\mathcal{P}} = \mathcal{P}\mathcal{P}(J_0 \zeta y, g, t). \quad (8)$$

Полученная структура системы (рис. 2) относится к классу адаптивных [21]. Настройка операторных связей $R_{\mathcal{P}}$ осуществляется в процессе реальной работы системы, причем по мере приближения $R_{\mathcal{P}}$ к \mathcal{P} качество управления повышается, $J \approx J_0$. Вместе с этим осуществляется идентификация объекта $R_{\mathcal{P}} \approx \mathcal{P}$, т. е. снимается фактор начальной неопределенности.

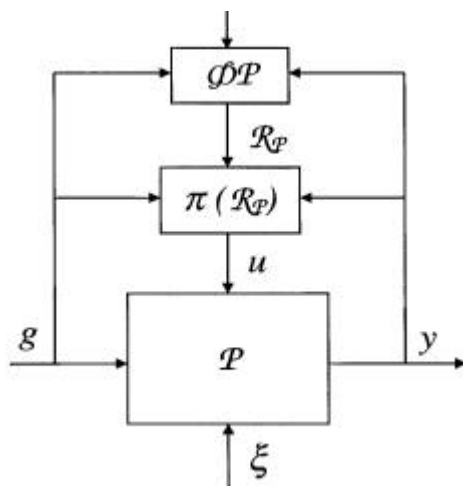


Рис. 2. Структура адаптивной системы

Именно в этом и заключается качественное отличие систем с операторными обратными связями (7), (8) от систем классического типа (5). Очевидно, адаптивные системы имеют лучшие характеристики управления при значительной неопределенности описания объекта.

Одним из проблемных в теории управления остается вопрос целеполагания [19]. Как отмечалось выше, целевое условие формально отражает желаемый характер поведения системы в координатах входов и выходов объекта. Очевидно, достижение тех или иных показателей зависит от ресурсов управления, собственно модели объекта и воздействий внешней среды. Если начальное описание объекта \mathcal{P} остается неопределенным, то цель первого приближения может быть потенциально недостижима имеющимися

средствами управления. Возникающие противоречивые ситуации должны учитываться введением в алгоритм управлений обратных связей по целевому условию управления — именно так поступают при корректировке плановых показателей. Алгоритм коррекции цели запишем в виде

$$R_J = \Phi J(R_{\mathcal{P}} \zeta y, g, t). \quad (9)$$

Дополнив это соотношение алгоритмом самонастройки оператора

$$R_{\mathcal{P}} = \Phi J(R_J \zeta y, g, t), \quad (10)$$

$$u = p(R_{\mathcal{P}}, R_J \zeta y, g, t),$$

приходим к трехуровневой организационной структуре системы управления (рис. 3), соответствующей одному иерархическому уровню ранее построенной общей l -уровневой технологии нефтедобычи

$$\Phi_i = \{p_i, \Phi P_i, \Phi J_i\}, \quad i = 1, l. \quad (11)$$

Директива верхнего уровня u_{i+1} может восприниматься i -м алгоритмом по-разному, в зависимости от конкретных задач и иерархической организации системы. Однако в любом случае координаты директив u_{i+1} включают информацию о спускаемых ресурсах и интегральных целях управления, подлежащих исполнению последующими уровнями. В целом u_{i+1} назначает некоторые ограничения по структурной организации блока алгоритма Φ_i (11).

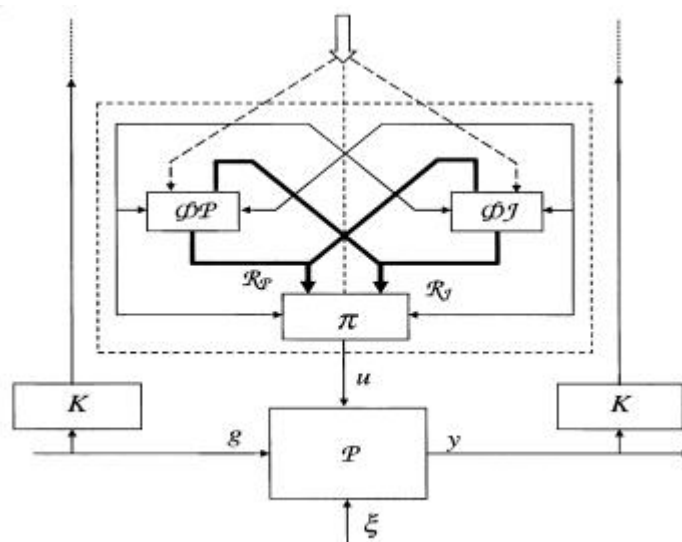


Рис. 3. Полнофункциональная адаптивная система

Перейдем к вопросу о фактическом переносе функций проектирования в замкнутый контур эксплуатации. Казалось бы, если соответствующие функции проектирования реализованы в автоматизированной системе (САПР разработки и обустройства), то прямое введение данных САПР в контур реальной эксплуатации полностью решает задачу создания ГАТН. В действительности это не так. То множество функций, которое можно включить в контур эксплуатации, определяется экономическими и техническими условиями целесообразности. Для последующего анализа введем понятие **ресурса замкнутого управления**. В самом простейшем смысле для создания систем замкнутого управления необходимо иметь информацию о состоянии объекта управления и возможность действовать на объект посредством управляемых входов. Очевидно, эффективность управления будет тем выше, чем больше информации об объекте и его состоянии мы имеем и чем выше его регулировочные возможности по доступным входам (регулируемые возможности определяются чувствительностью цепи управления к вариациям данных входов). Здесь также можно сказать, что чем больше число таких входов, тем лучше для целей управления. Следовательно, ресурсы замкнутого управления определяются размерностью реально контролируемого входо-выходного вектора состояния объекта (y, g) , а также размерностью и регулировочными возможностями вектора управления u . Оказывается, что ресурсы управления на этапе проектирования системы эксплуатации выше, чем ресурсы замкнутого управления этапа реальной эксплуатации. Действительно, объем информации, необходимый для создания проекта системы разработки и обустройства шире и разностороннее, чем информация промыслового характера. В частности, при проектировании возможны целенаправленные разведочные исследования, углубленные лабораторные анализы и т. д. В промысловых условиях непрерывный контроль над таким объемом информации просто невозможен. И наконец, еще более важный аспект. Алгоритмы в проектировании задействуют несомненно больший набор управляемых средств, чем схемы реальной эксплуатации. Например, вторичное обращение к алгоритму проектирования в контуре эксплуатации даст в

директивах новую схему заводнения с измененной сеткой скважин. Фактическое исполнение данных директив в условиях уже разбуренной сетки и созданной системы коммуникаций чаще невозможно. Лишь малый фонд резервных скважин остается «подвижным» в эксплуатационный период, хотя регулировка глубины подвески была бы крайне эффективна при управлении в режиме освоения.

Однако границы ресурсов в проектировании и эксплуатации не остаются постоянными. Если в технологии эксплуатации скважин введение автоматически регулируемой глубины подвески насоса или спуска НКТ остается еще проблемной задачей, то переход к оборудованию с регулируемой производительностью, а также к регулируемым устьевым задвижкам уже реализуется. Все шире используются глубинные измерительные приборы [24].

Чем же определяется эта граница? Граница зависит от уровня развития информационно-измерительной, вычислительной и регулируемой техники. Однако основным стимулом расширения ресурсных границ управления является эффективность новых технологий эксплуатации, т. е. тех задач, которые решаются на основе использования данных технических средств. В результате можно заключить, что для каждого момента развития техники и технологии существует экономически оптимальный ресурс замкнутого управления.

Как уже отмечалось ранее, показатели эксплуатации месторождения подлежат постоянному контролю со стороны проектантов. При этом схемы разработки и обустройства время от времени пересматриваются с той или иной полнотой. Это означает, что замкнутым управлением задействуется значительный объем ресурсов. Вопрос в том, как быстро и с какой периодичностью реализуются данные коррекции.

Иерархическая структура алгоритма эксплуатации $\varphi = \{\varphi_1 \dots \varphi_l\}$ (см. рис. 1) устанавливает соотношения для динамики контура управления. В частности, алгоритм φ_1 первого уровня (автоматические регуляторы и измерители) действует непрерывно, в то время как период коррекции последующих уровней может быть час, сутки, недели и т. д.

Фактор времени усложняет задачу выбора оптимального ресурса замкнутого управления. В основе ее решения лежит критерий сравнения затрат на реализацию управления и потерь от его нереализации в установленный период времени.

Динамика процессов управления i -го уровня определяется следующими факторами:

1) динамикой соответствующего объекта управления — φ_i . Как ранее было установлено, быстродействие φ_i зависит от быстродействия его составных исполнительных звеньев φ_{k-1} и собственно динамики объекта эксплуатации φ ;

2) метрологическими свойствами измерителей информации i -го уровня (y_i, g_i), иными словами — уровнем зашумленности сигналов, динамикой и фильтрационными свойствами информационных координаторов;

3) собственной динамикой алгоритма φ_j (время принятия решения и время его отработки).

Сокращенный объем ресурсов замкнутого управления и фактический перенос части функций проектирования на этап эксплуатации предопределяют отличительные особенности решения задач управления как на этапе проектирования, так и при эксплуатации.

Методика расчета проектных задач должна отвечать характеру «прочных стратегий», т. е. стратегий с гарантированным выигрышем. К таким же решениям должны приближаться алгоритмы управления самых высоких уровней иерархии со значительными периодами коррекции.

Начальные состояния входов u_i для эксплуатационных схем управления с малым периодом коррекции должны выбираться по условию среднего для заданной области неопределенности.

И наконец, ограниченность ресурсов замкнутого управления снижает границы эффективности системы эксплуатации в сравнении с соответствующей системой управления в проектировании. Это, в свою очередь, ведет к упрощению моделей объектов, целей и, как следствие, алгоритмов управления. Последнее позволяет использовать для целей оперативного управления на уровне технологических процессов средства малой и микропроцессорной вычислительной техники. Не менее важно в связи с этим отметить, что модели управляемых объектов, ориентированные на задачи проектирования, не могут быть использованы непосредственно при разработке систем замкнутого управления.

Все вышеназванное и предопределяет особенности и задачи синтеза ГАТН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева Н. Н. Научно-технические аспекты разработки и эксплуатации мелких нефтяных месторождений: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: ОАО «ВНИИнефть», 2002. 47 с.
2. Булгаков Р. Т., Лисатор М. С., Малецкий В. А., Фрид Д. Н. Организационно-технологическая автоматизированная система управления нефтедобывающим производством. Обзор. инф. ВНИИОЭНГ, 1978. 47 с.
3. Грайфер В. И. Новая технология разработки нефтяных месторождений ОАО «РИТЭК» // Нефтепромысловое дело. М.: ВНИИОЭНГ, 2002. № 6. С. 8–10.
4. Дементьев Л. Ф. Системные исследования в нефтегазовой промышленности. М.: Недра, 1988. 204 с.
5. Динамика геолого-технических комплексов в нефтегазодобыче. М.: Наука, 1993. 272 с.
6. Донцов К. М. Разработка нефтяных месторождений. М.: Недра, 1977. 360 с.
7. Емельянов С. В., Коровин С. К. Новые типы обратной связи: Управление при неопределенности. М.: Наука. Физматлит, 1997. 352 с.
8. Ермилов О. М., Миловидов К. Н., Чугунов Л. С., Ремизов В. В. Стратегия развития нефтегазовых компаний. М.: Наука, 1998. 623 с.
9. Казанский Д. АСУ ТП для нефтедобывающего предприятия // Современные технологии автоматизации. 2001. № 2. С. 32–33.
10. Коровин С. Я., Николаевский А. Л. «АЛЬФА-ЦИТС» — автоматизация работы центральной инженерно-технической службы нефтедобывающего управления // Нефтяное хозяйство. 2001. № 10. С. 64–66.
11. Куржанский А. Б. Управление и наблюдение в условиях неопределенности. М.: Наука, 1977. 392 с.
12. Месарович М., Мако Д., Такаха И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 373 с.

13. Павлов Б. В., Соловьев И. Г. Системы прямого адаптивного управления. М.: Наука, 1989. 136 с.
14. Первозванский А. А. Курс теории автоматического управления. М.: Наука, 1986. 616 с.
15. Повышение эффективности освоения газовых месторождений Крайнего Севера. М.: Наука, 1977. 655 с.
16. Поскряков Ю. М., Атлямов Н. Н. Типизация технических и программных решений автоматизации объектов добычи нефти // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. М.: ВНИИОЭНГ, 2001. № 7, 8. С. 14–17.
17. Правила разработки нефтяных и газовых месторождений. М.: МНП СССР, 1978. 66 с.
18. Прогнозирование и регулирование разработки газовых месторождений / С. Н. Закиров, В. И. Васильев и др. М.: Недра, 1984. 295 с.
19. Растринин Л. А. Современные принципы управления сложными объектами. М.: Сов. радио, 1980. 232 с.
20. Современные методы увеличения нефтеотдачи пластов. М.: Наука, 1992. 136 с.
21. Соловьев И. Г. Архитектура адаптивных систем / Деп. в ВИНТИ. Тюмень, 1987. 35 с.
22. Соломенцев Ю. М., Сосонкин В. Л. Управление гибкими производственными системами. М.: Машиностроение, 1988. 352 с.
23. Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности. М.: Наука, 2000. 399 с.
24. Чукчев О. А., Локтев А. В., Болтов И. Д. Термоманометрическая система контроля вывода на режим и эксплуатации УЭЦН // Нефтяное хозяйство. 2003. № 6. С. 75–77.
25. Юсупов Р. М., Журавлев А. Б. Создание единого корпоративного информационного пространства для эффективного управления данными нефтегазовой компании // Нефтяное хозяйство. 2002. № 10. С. 34–38.

I. G. Solovyev

FLEXIBLE AUTOMATED METHODS IN OIL PRODUCTION. CONCEPTUAL FRAMEWORK AND SYSTEM PRINCIPLES

The article analyses particulars regarding the present state of oil industry as well as the factors influencing its development. Subject to consideration being ways of improving management patterns basing on integrated automation of design functions, gradually matching thereof with operational stages.