



Человек в контуре управления

Человек-оператор – центральная фигура при разработке и при эксплуатации промышленных систем автоматизации

Джон Претлове, Шарлотта Скоруп

С момента появления в середине 60-х гг. компьютеризованного автоматического управления производственными процессами инженерная мысль постоянно стремилась свести к минимуму разногласие между тем, как человек понимает то, что он хочет выполнить, и тем, как понимает его задание машина. Успех оказался устойчивым и привёл к улучшению характеристик автоматизированных систем, повышению их надёжности и степени безопасности. Улучшение

характеристик привело к постепенному снижению доли работ, выполняемых оператором, давая последнему возможность сосредоточиться на более сложных задачах наблюдения, управления в особых случаях, оптимизации и технического обслуживания. Таким образом, за последние 50 лет сформировалось чёткое разделение сфер ответственности между человеком и машиной на основе оптимального использования способностей каждого.

Получение максимального эффекта от взаимодействия человек-машина зависит от устойчивых темпов развития технологии в трёх основных областях – инструментальных средств принятия решений, эргономики и средств визуализации, а также упрощения использования сложных систем. Оптимальное сочетание этих трёх областей и создаёт ту среду, в которой приходится работать оператору современных систем автоматизации.

На протяжении последних примерно 50 лет улучшение характеристик и повышение надёжности автоматизированных промышленных систем позволили освободить оператора от выполнения утомительных, повторяющихся или связанных с повышенным риском операций. Вместо этого оператор в автоматизированных промышленных системах высокой сложности (электрические сети и электростанции, целлюлозно-бумажные фабрики, нефтеперерабатывающие заводы) теперь занял центральное место в таких работах, как наблюдение, выявление отклонений от нормальной работы, техническое обслуживание и оптимизация процессов. Как ни парадоксально, человек-оператор стал неотъемлемой частью любого контура автоматизированного управления почти во всех отраслях промышленности независимо от размеров производства. Поэтому очень существенно не только понять, но и сделать как можно более тесным взаимодействие между оператором и автоматизированной системой управления. В целях обеспечения безопасности и оптимальности характеристик системы здесь крайне важен системный подход.

Люди как часть автоматизированной системы

На заре автоматизации производства разработчики оборудования пытались автоматизировать всё подряд, полностью исключив человека-оператора, который рассматривался как слабейшее звено всего контура управления производственным процессом. Такой подход провалился и тогда человеку было определено выполнять то, что разработчики оказались неспособными автоматизировать.

Сферы применения, где человек оказывается искуснее машины, были чётко определены ещё в начале 60-х гг, а лежащие в основе этого принципы впервые были описаны Полом Фиттсом в 1951г. [1]. Хотя модель Фиттса помогла в распределении функций между человеком и машиной, в ней не рассматривалось ни как объединить в одно целое возможности человека и машины, ни как повысить эффективность человека-оператора посредством поддержки его через взаимодействие с компьютерной системой. Нынешняя тенденция заключается в том, чтобы не исключать человека из автоматизированного производственного процесса, а наоборот, в значительной степени вовлечь его туда¹⁾. Причин тому две.

■ Степень охвата какого-либо процесса вне-

шним управлением является функцией степени предсказуемости этого процесса и степени его сложности. Например, невозможно достаточно точно или полно смоделировать работу завода (кроме, пожалуй, каких-то простейших его элементов). Невозможно также заранее определить, как внешние воздействия смогут повлиять на систему управления.

Очень важно не только понять взаимодействие между человеком-оператором и автоматизированной системой управления, но и сделать его как можно более тесным в целях обеспечения безопасности и оптимальности характеристик системы.

■ Есть процессы, полная автоматизация которых с технической точки зрения вполне возможна, но цена этого окажется недопустимо высокой. В любом случае общество вряд ли согласится на применение систем с высокой степенью риска без того, чтобы ответственность за эти системы в целом не нес человек. Например, системы управления современного реактивного пассажирского самолёта позволяют производить взлёт и посадку без вмешательства пилотов. Но вряд ли многие отважатся полететь

на самолёте, на борту которого нет пилота, отвечающего за управление самолётом!

При проектировании автоматизированной системы, в контур управления которой включается человек, следует учитывать следующие важные параметры автоматизируемого процесса:

- масштаб и сложность процесса;
- динамичность процесса;
- изменчивость программы выпуска продукции;
- влияние процесса на окружающую среду;
- экономические последствия сбоев процесса;
- безопасность процесса для людей, оборудования и окружающей среды.

Люди в большинстве случаев со знанием дела справляются со многими из указанных факторов, находящихся в различных зависимостях между собой. Например, люди обладают способностью распознавать образы и аномальные события, основываясь на больших совокупностях данных, продумывать последовательность действий по выходу из вновь возникшей ситуации, хранить в течение длительного времени большие объёмы знаний, а также рассуждать и выносить заключения. Чтобы всё это делать эффективно, человек-оператор должен быть постоянно в курсе текущего положения дел. Чтобы правильно понять это текущее положение и принять нужное решение, человеку-оператору требуется нужная информация в нужное время. Для этого необходима легко-воспринимаемая визуальная поддержка. Научкой о мышлении был найден наиболее эффективный путь для того, чтобы в критических ситуациях быстро осознавалось самое главное. Чтобы работа человека-оператора была безопасной, необхо-

1 Пилотская кабина аэробуса A380 (с любезного разрешения компании Airbus).



¹⁾ Разделение труда между наделённым знаниями человеком-оператором и большими, сложными, динамическими системами – одна сторона вопроса. Вторая сторона – нахождение правильного баланса в этом разделении.

Человеческий фактор

димо также надлежащим образом использовать достижения эргономики. В роли своеобразных подопытных «морских свинок» в этой области оказались пилотские кабины самолётов (рис. 1) и приборные доски автомобилей.

Поддержка в принятии решений

«Системы поддержки принятия решений представляют собой класс компьютерных информационных систем или баз знаний, которые различным образом поддерживают процесс принятия решений» [2].

В эффективной системе поддержки принятия решений для современных сложных отраслей промышленности необходимо учитывать как уровень автоматизации, так и человеческое поведение. Большинство производственных процессов в своей значительной части достаточно легко поддаются моделированию и, следовательно, автоматизации. А вот поведение человека гораздо сложнее, более непредсказуемо и почти не поддаётся моделированию. Вместо того, чтобы моделировать человека (имея в виду заменить его), цель поддержки принятия решения в больших автоматизированных системах — сделать человека ещё более ценным «компонентом», помогая ему в процессе принятия решения, касающегося какой-то специфической ситуации или какого-то критического случая. Однако самым главным является то, что человек-оператор остаётся «при исполнении» (рис. 2). Система поддержки не должна пытаться определить, что именно делать. Вместо этого она должна снабдить пользователя достаточным количеством информации с тем, чтобы тот полностью овладел складывающейся ситуацией и смог предугадать последствия возможных решений. В конце концов, именно человек в контуре управления должен решать, какие действия будут наилучшими из возможных.

Крупный завод, в автоматизированных систе-

мах которого имеется более 10000 контуров управления, в нормальных и стабильных условиях может часами работать вообще без вмешательства человека. Вопрос в том, как дать знать оператору, что произошло что-то ненормальное или даже опасное. И снова напрашивается параллель между реакцией человека в этом случае и реакцией пилотов во время полёта. В межконтинентальных полётах пилоты часами могут находиться практически без дела. При возникновении «нештатной» ситуации пилоты немедленно приступают к действиям по быстрому решению любых возникших проблем. Это один из наиболее критичных моментов работы системы с человеком в контуре управления. С одной стороны, оператор наблюдает за системой, почти не требующей вмешательства оператора. С другой стороны, при возникновении отклонений от нормы, оператор должен знать не только текущее и предыдущее состояние процесса, но и какие действия требуются произвести в ручном режиме, чтобы вернуть ситуацию под контроль.

Самым главным является то, что человек-оператор остаётся «при исполнении». Система поддержки принятия решений не должна пытаться определить, что именно делать.

Исследования показали, что при поддержке оператора очень важно то, как поступающая информация подготавливается и представляется ему для того, чтобы охват ситуации был быстрым и полным. Например, при возникновении нештатной ситуации на перерабатывающем заводе

с угрозой окружающей среде, наиболее важной информацией будет следующая:

- самый первый сигнал об аварии (а не последовательность таких сигналов), который должен быть легко и быстро идентифицируемым;
- характеристические данные, которые желательно свести к нескольким ключевым статистическим критериям вместо того, чтобы отображать бескрайние таблицы результатов измерений;
- сравнение текущей ситуации с предыдущей и подобными, а также сведения о действиях, ранее предпринимавшихся в подобных случаях;
- прогноз результата (или последствий) определенного решения оператора, что повышает вероятность принятия оператором правильного решения.

Поддержка принятия решения может варьироваться от прямых рекомендаций, вырабатываемых автоматически, до предоставления возможностей человеку отыскивать решения самому, для чего ему сообщаются имеющиеся тенденции в развитии ситуации, необходимая статистическая информация и сведения о приоритете аварийных сигналов. Например, для поддержки оператора в овладении сложной аварийной ситуацией аварийные сигналы в программном обеспечении поддержки фильтруются и обозначаются цветом с тем, чтобы оператор мог увидеть наиболее важные сигналы в общем потоке информации. Другой пример касается выявления коренных причин ситуации, при которой её «аварийность» оценивается автоматически с указанием непосредственной причины. Всё более распространённым становится подход, при котором создаются «истории» подобных аварийных случаев, включающие и принятые меры. Оператор использует такие «истории» для пополнения своего личного опыта.

Эргономика и визуализация информации

Слово «эргономика» происходит от греческого слова «эргон», означающего работу. Применительно к процессу автоматизации это относится к действиям над средой, в которой работает человек. Изменяемыми параметрами этой среды могут быть, например, размеры рабочего помещения, его цветовая гамма, обстановка и, разумеется, визуализация вырабатываемой системами информации. Проведение многочисленных исследований помогло определить минимальные требования к комфортным условиям на рабочем месте оператора. Они касаются регулируемых столов и стульев, экранов с обзорной и детализированной информацией, цвета символов и фона на дисплеях, а также рекомендованных методов поиска изменений в информации и параметрах. Эти требования должны быть чётко определены

2 Центр управления производством 1950-х гг.



и последовательно выполнены во всей системе. Однако при размещении в одном помещении систем, эргономические требования к которым различны, возникают сложности. Для гармонизации таких систем, способствующей повышению эффективности производства в целом, служат международные стандарты такие, как ISO 9241²⁾ и ISO 11064³⁾, вобравшие в себя всё лучшее из практики.

Система управления – один из основных источников, предоставляющих операторам «входные сигналы», которые отражают состояние производственного процесса.

Визуализация информации – это то, как информация представляется человеку-оператору. В кратком виде это определяется как «совокупность компьютерной графики и интерфейсов пользователя, связанная с представлением пользователям интерактивных или анимированных цифровых образов в наилучшей для понимания форме» [3].

Система управления – один из основных источников, предоставляющих операторам «входные сигналы», которые отражают состояние производственного процесса. Поэтому весьма существенно, чтобы эта информация представлялась в виде, позволяющем оператору видеть и досконально понимать текущее положение дел. Точно моделировать и предсказывать человеческое поведение невозможно, поэтому тем более важно знать, насколько существенно правильное представление информации.

Визуализация информации включает в себя самую разнообразную технику – от классических графических интерфейсов пользователя до интерфейсов для 3- и 4-мерного отображения виртуальной реальности. В пределах области автоматизации визуализация информации может иметь любой масштаб – от представления «сырых» (абстрактных) данных на экранах оператора и интерфейсов для взаимодействия человек-машина до создания целых помещений для организации взаимодействия на расстоянии.

Традиционно на пультах операторов применяются технологические схемы⁴⁾ для получения общего представления об автоматизированном производственном процессе. Для отображения аварийных сигналов часто служит отдельная система. Однако если перепроектировать обзорный дисплей так, чтобы он в основном отображал изменения в ходе производственного процесса в сочетании с аварийными сигналами, это позволит оператору мгновенно увидеть связь между изменениями в процессе и аварийными сигналами. Такая визуализация может даже предотвращать аварии, поскольку оператор сможет заметить, что процесс подходит к некоторому пределу, за которым может развиваться авария. Другой путь предоставления оператору наглядной обзорной информации о системе – пространственная визуализация данных, создание 3-мерной модели производственного процесса. В этом случае возможно даже отобразить пространственное расположение оборудования и показать специфические взаимосвязи между его частями. Более того, в такой 3-мерной модели производственного процесса можно интегрировать информацию от нескольких систем и в результате получить законченный единый интерфейс для нескольких производственных процессов или их отдельных сегментов.

Процесс разработки: как обеспечить простоту применения

«Простота применения – это свойство какого-либо продукта, заключающееся в том, что пользоваться этим продуктом можно и не взбираясь по крутым ступеням лестницы познания. Продуктами, у которых это свойство находится на высоком уровне, средний пользователь, выходящий на целевой рынок таких продуктов, может пользоваться просто по интуиции. Термином «простота применения» часто определяют одну из целей в ходе разработки продукта, кроме того, он используется в рыночной экономике.» [4].

Человек-оператор – ключ к успеху применения технологии автоматизации к производственному процессу. Взаимодействие между человеком в контуре управления и передовой системой автоматизации производства зависит от того, насколько просто человеку обращаться с многоликой функциональностью современных систем управления. Подчас большинство контуров управления – это контуры ручного управления, ибо в полностью автоматическом режиме оптимально настроить эти контуры очень сложно. Поэтому важно рассматривать каждый аспект возможностей системы управления применительно к пользователю, т. е. при разработке и мо-

Современный завод комплексной переработки нефти и газа.



²⁾ «Эргономические требования к офисной работе со средствами отображения визуальной информации». Стандарт ISO 9241 определяет требования и рекомендации, касающиеся атрибутов аппаратного и программного обеспечения, окружающих условий, влияющих на удобство применения, а также эргономических принципов, лежащих в их основе.

³⁾ «Эргономический дизайн центров управления». В этой части (часть 8) стандарта изложены эргономические принципы, рекомендации и указания.

⁴⁾ Схематическое изображение функциональных зависимостей между трубопроводами, производственным оборудованием и измерительными приборами в пределах промышленных установок на химическом производстве, в энергетике, водоснабжении и т.п. Подробнее см. http://en.wikipedia.org/wiki/Piping_and_instrumentation_diagram, выложено 20 октября 2006 г.

Человеческий фактор

3 Современные системы управления имеют большой проекционный экран и отдельные рабочие места операторов.



дернизации системы в целом человек-оператор должен неизменно рассматриваться как центральное звено (рис. 3). Основные принципы разработки [5] включают:

- организация технологии под цели, задачи и возможности пользователя;
- организация технологии применительно к процессу обработки информации самим пользователем и принятия им решений;
- информированность пользователя о состоянии процесса и вовлечённость его в управление процессом на всех этапах технологии.

Крайне важно упростить те шаги, которые должны быть предприняты оператором для выхода из критической ситуации, чтобы «машинные» возможности системы управления использовались при этом максимально эффективно. Простота применения сложной автоматизированной системы начинается с понимания сути человека в контуре управления. Разработчики должны постоянно и единообразно представлять себе действия человека в качестве контролёра, оператора или специалиста по техническому обслуживанию. Знание поведения человека помогает определить базовую архитектуру автоматизированной

системы, исходя из целей, задач и ожиданий пользователя.

Важно, чтобы автоматизированная система в целом была спроектирована таким образом, чтобы любое неправильное толкование данных полностью исключалось.

Когда на предприятии происходит что-то неожиданное и необычное, оператор начинает активно искать информацию для составления картины состояния процесса. При этом он полностью зависит от той информации, которую можно получить от системы управления и должен ей полностью доверять. Поэтому важно, чтобы автоматизированная система в целом была спроектирована таким образом, чтобы полностью исключалось любое неправильное толкование данных, способное привести к непра-

вильным действиям и потенциально серьёзным последствиям для производственного процесса и людей, находящихся в его зоне.

Заключение

Думать, что автоматизированная система может управляться или только вручную, или только автоматически – распространённое заблуждение. Редко бывает всё просто и ясно. Реальность такова, что для большинства производственных процессов диапазон способов управления простирается от полностью ручного до полностью автоматического. В производственных процессах можно выделить различные режимы работы, для каждого из которых уровень автоматизации будет свой. Люди играют в современных системах автоматизации производства центральную роль, а в будущем эта роль станет ещё более важной. Вместе с тем, человек-оператор является наиболее уязвимым звеном такой системы: «повредить» это звено достаточно легко. Понимание характеристик систем управления производственными процессами и оптимизация их опираются на систематический и целостный подход, учитывающий как стремительное развитие технологий, так и особую роль человека.

Джон Претлове

Шарлотта Скоруп

ABB Strategic R&D Group for Oil & Gas

Осло, Норвегия

john.pretlove@no.abb.com

charlotte.skourup@no.abb.com

Литература

- [1] P. Fitts, «Human Engineering for an Effective Air Navigation and Traffic Control System.» National Academy of Sciences, Washington D.C. 1951.
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Decision_support_systems, выложено 20 октября 2006 г.
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Information_visualization, выложено 20 октября 2006 г.
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Ease_of_use, выложено 20 октября 2006 г.
- [5] M.R. Endsley, B. Bolté, D.G. Jones, Designing for situation awareness – An approach to user-centered design. Taylor & Francis, London, 2003.

Рекомендуется прочитать дополнительно:

L. Bainbridge, Ironies of Automation. Automatica 19 (1983) 6, 775–779.

T. B. Sheridan, Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control. The MIT Press, Massachusetts, 1992.