



СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

Э.Л. Ицкович (ИПУ РАН)

Рассматриваются особенности оценки эффективности систем автоматизации на разных этапах их жизненного цикла: при их планировании (прогноз эффективности) и функционировании (расчет эффективности). Предлагаются рациональные способы оценки эффективности, учитывающие наличие необходимых исходных данных на этих этапах.

Ключевые слова: прогноз и расчет эффективности системы автоматизации, прибыль, резервирование, задача ранжирования, методика проведения эксперимента, дисперсия оценки.

Оценку эффективности системы автоматизации необходимо производить на разных этапах жизненного цикла ее разработки и эксплуатации, существенно различающихся по имеющимся для оценки исходным данным.

В одном случае — на этапах разработки концепции автоматизации, ее финансового обоснования, выбора технических и программных средств для ее конкретной реализации, проектирования системы контроля и управления — должен производиться *прогноз* эффективности системы автоматизации. В этом случае непосредственных исходных данных о работе конкретной, намеряемой системы автоматизации нет.

В другом случае — на этапах внедрения и эксплуатации системы автоматизации — должен производиться *расчет* эффективности ее работы. Здесь могут использоваться все данные, непосредственно фиксирующие работу рассматриваемой системы автоматизации.

Ниже обсуждаются рациональные способы оценки эффективности систем автоматизации в этих случаях.

Прогноз эффективности планируемой системы автоматизации

Не подлежит сомнению, что в первую очередь подлежат автоматизации те функции контроля и управления, автоматизация которых является наиболее эффективной при текущем состоянии производства. Обычными показателями эффективности, на основе которых руководящий персонал предприятия принимает решение о выделении финансовых ресурсов на конкретную систему автоматизацию производства, являются интегральный экономический эффект и срок окупаемости системы, характеризующие ожидаемую доходность инвестиций на эту систему [1]. Значения этих показателей являются одним из главных аргументов заказчика при выборе конкретных программных и технических средств и систем автоматизации из ряда возможных вариантов. При этом, естественно, чем выше показываемый, прогнозируемый, интегральный экономический эффект от системы, тем важнее считается ее внедрение и тем скорее будут выделены средства на ее реализацию.

Указанные показатели эффективности вычисляются на основе стоимости системы автоматизации и про-

гноза дополнительной прибыли, которая получится от внедрения планируемой системы. Если стоимость системы вычисляется достаточно просто по ценам на входящие в нее средства автоматизации и на работы по разработке и внедрению системы, то с оценкой прогноза дополнительной прибыли от системы ситуация совершенно другая. Само понятие "эффективность системы автоматизации" далеко не всегда может быть сведено к указанным количественным экономическим показателям, поскольку на практике не для всех намечаемых к внедрению систем автоматизации можно достаточно обоснованно, с разумной степенью приближения оценить количественно дополнительную прибыль от их внедрения. К системам, дополнительную прибыль от внедрения которых можно прогнозировать, относятся, например:

- системы, аналогичные уже функционирующим на другом предприятии данной отрасли (работающим в близких условиях, на подобном оборудовании и аналогичным по свойствам сырье), если для них был рассчитан конкретный экономический эффект от внедрения системы по реально полученным на производстве исходным данным;

- системы, реализация которых не косвенно, а непосредственно приводит к экономии материальных и/или энергетических ресурсов;

- системы, реализуемые на конечном участке производства, которые прямо изменяют производительность производства и/или качество (сортность) готовой продукции.

Существуют классы систем автоматизации, которые заведомо важны и эффективны для предприятия, но количественный экономический эффект от которых в виде дополнительной прибыли объективно не может быть заранее достоверно спрогнозирован. К таким системам относятся, например:

- системы оперативного мониторинга, повышающие текущую информированность операторов о ходе автоматизированного ТП;

- системы безопасности, обеспечивающие снижение аварийных ситуаций;

- системы оперативного учета потребляемых автоматизируемым объектом материальных и энерге-

тических ресурсов, дающие объективную информацию об экономичности поддерживаемого режима работы агрегата;

- системы компьютерной поддержки принятия решений по оперативному управлению отдельным процессом или по диспетчерскому управлению производством, помогающие отбирать рациональные варианты управляющих воздействий.

В обобщенном виде любое значимое улучшение работы предприятия должно дать некоторый экономический эффект. Но на практике значительная часть изменений работы производства, связанных с его автоматизацией, не поддается количественному прогнозу и, следовательно, не может дать обоснованную оценку дополнительной прибыли, которая возникнет при внедрении системы, хотя вне сомнения, реализация этих изменений имеет важное положительное значение для предприятия. Ввиду этого, при прогнозировании эффективности систем автоматизации целесообразно условно подразделить указанную основную цель автоматизации "повышение эффективности функционирования производства" на две дополняющие друг друга подцели:

- улучшение параметров режима или технических показателей функционирования производства, которые *обоснованно переводятся в прогнозируемый количественный экономический эффект в виде дополнительной прибыли*, получаемой предприятием от автоматизации;

- улучшение параметров режима или технических показателей функционирования производства, которые *не могут быть обоснованно пересчитаны в прогнозируемый количественный экономический эффект* и поэтому должны быть оценены не количественными экономическими показателями эффективности.

Рассмотрим конкретные изменения показателей этих двух разных видов и возможные способы прогноза их изменений за счет автоматизации.

Изменения производственных показателей работы автоматизируемого объекта, пересчитываемые в дополнительную прибыль от автоматизации

Есть целый ряд производственных показателей работы производства, изменения которых обоснованно могут быть переведены в дополнительную прибыль предприятия. Основные производственные изменения на производстве, непосредственно переводимые в экономические, стоимостные показатели перечислены ниже.

1. Изменение режима работы объекта автоматизации, непосредственно приводящее к повышению производительности автоматизируемого участка производства. Оно целесообразно и экономически просчитываемо в случаях:

- если данный участок является узким местом производства и повышение производительности на нем приводит к росту выпуска готовой продукции, излишек которой затребован рынком;

- если повышение производительности данного участка снижает загрузку других участков производства и тем самым снижает затраты на выпуск продукции.

2. Изменение режима работы объекта автоматизации, непосредственно приводящее к улучшению качества продукции (полуфабриката), вырабатываемой автоматизируемым участком производства. Оно целесообразно и экономически просчитываемо, если это улучшение:

- непосредственно переводит готовую продукцию в другой сорт более высокой стоимости;

- снижает процент брака полуфабриката или готовой продукции;

- приводит в последующих по производственной цепи участках производства к уменьшению затрат на его дальнейшую переработку;

- приводит к уменьшению затрат на его дальнейшую переработку в последующих по производственной цепи участках производства.

3. Изменение режима работы объекта автоматизации, непосредственно приводящее к экономии материальных и/или энергетических ресурсов. Оно целесообразно и экономически просчитываемо, если при этом не ухудшаются качественные и количественные показатели выпускаемой продукции.

4. Уменьшение дисперсии режимных параметров (стабилизация режимов работы) агрегатов автоматизируемого участка производства. Оно целесообразно и экономически просчитываемо, если:

- позволяет приблизить режим работы к границе допустимого диапазона без опасности его перехода и тем самым экономить энергетические и материальные ресурсы, используемые в объекте автоматизации;

- позволяет снизить выпуск низкосортной (или бракованной) готовой продукции или полуфабриката за счет уменьшения разброса их качественных показателей.

Изменения производственных показателей работы автоматизируемого объекта, которые нельзя обоснованно перевести в дополнительную прибыль от автоматизации

Задача повышения эффективности работы предприятия может решаться за счет целого ряда бесспорных технических инноваций, базирующихся на средствах автоматизации и изменяющих параметры режима функционирования производства, по которым затруднительно, а большей частью невозможно практически обоснованно прогнозировать конкретную дополнительную прибыль, получаемую предприятием. Примеры таких классов систем автоматизации приведены ранее, ниже более подробно рассмотрены изменения на производстве, возникающие при внедрении отдельных систем этих классов, и пояснены причины невозможности их непосредственного перевода в стоимостные экономические показатели.

1. Повышение надежности функционирования производства за счет резервирования систем управле-

ния и особенно построения автоматических систем противоаварийной защиты. Если существуют практически полученные статистические оценки числа остановок производства и аварий при отсутствии и при наличии резервированных систем управления и систем противоаварийной защиты, то, зная потери производства от его остановок и от аварий, не составляет труда прогнозировать количественный экономический эффект от функционирования рассматриваемых систем. Однако предположение о наличии таких статистических оценок представляется достаточно утопичным, поскольку остановки производства и аварии из-за отказов систем автоматического управления естественно чрезвычайно редки, а поэтому оценка обоснованного количественного экономического эффекта от резервирования систем регулирования обычно не может быть рассчитана, хотя, бесспорно, она достаточно высока.

2. Улучшение контроля за протеканием ТП за счет увеличения объема измеряемых автоматически величин; повышения точности и стабильности измерений; расчета текущих технико-экономических показателей работы автоматизируемого объекта; оперативного учета потребляемых автоматизируемым агрегатом материальных и энергетических ресурсов. Данные мероприятия практически всегда оказывают положительное влияние на качество управления и протекание производственных процессов. Они способствуют более бережному потреблению ресурсов каждым производственным участком, но реальный экономический эффект от внедрения этих мероприятий будет зависеть от способов использования новых и уточненных данных управляющим персоналом, а для его прогноза обычно нет достоверных данных о возможных реакциях персонала.

3. Снижение экологического загрязнения окружающей среды за счет внедрения систем автоматического экологического мониторинга функционирования производства и прогноза промышленных выбросов. Естественно, что подобные системы играют важную общественную социальную роль, но прогноз дополнительной прибыли от их внедрения требует знания статистики происшедших выбросов; причин их возникновения; выделения причин, определяемых отсутствием рассматриваемых средств и систем автоматизации и т. п. исходных данных, получение на практике которых весьма мало вероятно. Не менее важно и то, что наличие систем автоматического экологического мониторинга функционирования производства позволяет снизить общий фон экологического загрязнения среды, даже если уровень этих загрязнений не превышает установленных норм и не наказывается штрафом. Такое снижение загрязнений имеет существенный общественный эффект, но не оказывает количественного экономического влияния на предприятие, поскольку у него отсутствуют соответствующие материальные стимулы.

4. Повышение оперативности и точности информации о протекании автоматизируемого процесса и

Секрет конкурентоспособности - это современные технологии, обучение и оценка эффективности...

Журнал "Автоматизация в промышленности"

облегчение ее восприятия оператором при внедрении SCADA-программ и эргономических нововведений, базирующихся на возможностях современных систем автоматизации. Несомненно, что это должно влиять на качество управления автоматизируемого процесса, но никаких исходных данных для обоснованного перевода этих положительных качественных изменений в количественную экономическую эффективность не существует.

5. Улучшение социальных условий труда операторов производства, обслуживающего и инженерного персонала за счет автоматизации производственных процессов. Аналогично предыдущему пункту, нет способа обоснованного перевода этих положительных качественных изменений в количественную экономическую эффективность.

Отсутствие оценки обоснованного количественного экономического прогноза от внедрения систем автоматизации рассмотренных классов затрудняет выяснение целесообразности выделения финансовых средств на их разработку и внедрение. В то же время на рассматриваемых этапах выбора и разработки различных мероприятий по автоматизации необходимо иметь некоторое единое представление об эффективности планируемых систем автоматизации разных классов, позволяющее сопоставлять важность их внедрения для предприятия. Это вынуждает ориентироваться на более широкое понятие эффективности автоматизации, а не только на показатель "дополнительная прибыль от системы автоматизации" при прогнозе и сопоставлении эффективности ряда планируемых систем автоматизации.

Обобщенная оценка эффективности планируемой системы автоматизации

Ввиду указанных обстоятельств под понятием "эффективность проведения некоторого мероприятия по автоматизации" или "эффективность внедрения определенной системы автоматизации" правильнее понимать совокупную оценку ряда составляющих эффективности из множества различных видов эффекта, которые могут быть объективно и обоснованно получены для разных классов систем автоматизации:

- *экономическая эффективность*, выражаемая количественной оценкой дополнительной прибыли от реализации системы автоматизации;

- *техническая эффективность*, выражаемая количественными оценками: уменьшение дисперсии регулируемой величины, снижение числа выходов технологических показателей за заданный диапазон изменения; или качественными описаниями: повышения безопасности функционирования систем контроля и управления, включения в автоматизируемые функции

мониторинга состояния основного оборудования производственного процесса и т. п.;

- *противоаварийная (надежностная) эффективность*, качественно определяемая повышением надежности реализации отдельных управляющих функций, в основном функций противоаварийной защиты;

- *экологическая эффективность*, выражаемая качественными описаниями: внедрение специальных датчиков экологических показателей, реализация функции автоматического прогнозирования промышленных выбросов, более точная автоматическая стабилизация показателей, ответственных за экологическую чистоту отходов производства;

- *социальная эффективность*, фиксируемая качественными описаниями последствий внедрения средств/системы на работу оперативного, инженерного и обслуживающего персонала: снижение загрузки операторов, более комфортные условия их работы, сокращение контрольных и ремонтных функций у службы КИПиА и т. п.

Следует отметить, что внедрение почти каждой системы автоматизации обычно приводит к нескольким разнородным видам эффективности, например, к технической и социальной эффективности или к экономическому и экологическому эффектам. Естественно, что все эти частные виды эффективности должны учитываться как составляющие компоненты обобщенной оценки эффективности реализации системы.

Суммарная обобщенная оценка эффективности планируемой системы автоматизации при ее известных разнородных качественных и количественных составляющих компонентов эффективности и предполагаемых затрат на ее создание может быть получена экспертным путем в результате многокритериального оценивания. Такая процедура экспертного оценивания эффективности отдельных разнородных систем автоматизации целесообразна при необходимости их сопоставления и решения вопроса о степени важности внедрения каждой из них. Она состоит из следующих этапов:

- руководство предприятия назначает веса всем отдельным показателям, требующим экспертной оценки: компонентам эффективности и целесообразности запрашиваемых затрат на создание системы. Эти веса должны учитывать значимость показателей для производства в настоящее время;

- отбирается группа высококвалифицированных работников предприятия: специалистов по технологии и автоматизации, которые назначаются экспертами. Они должны будут оценивать степень влияния каждой системы автоматизации на отдельные компоненты эффективности и целесообразность запрашиваемых затрат на ее создание;

- эксперты получают известные разнородные качественные и количественные показатели компонентов эффективности, прогнозируемые от внедрения каждой системы автоматизации, и запрашиваемые затраты на ее создание. По заданной им бальной

шкале они дают для каждой системы оценки отдельным показателям;

- полученные бальные оценки всех экспертов и заданные веса показателей вводятся в компьютер, в нем решается задача многокритериального выбора, и определяются обобщенные оценки эффективности всех планируемых систем автоматизации.

Следует отметить, что при проведении экспертизы руководство предприятия может расширить задачу ранжирования ряда систем автоматизации по их эффективности, включив в число оцениваемых показателей, кроме компонентов эффективности, некоторые другие существенные для текущего состояния производства характеристики систем. Например, могут быть заданы следующие добавочные показатели систем автоматизации, оцениваемые экспертами наряду с компонентами эффективности (значимость показателей также предварительно определяется руководством предприятия):

- целесообразность внедрения системы как базы для дальнейшего развития автоматизации производства;

- значимость участка производства, на котором должна быть внедрена система;

- рациональность внедрения системы для расшивки "узкого места" производства продукции.

В этом случае решение многокритериальной задачи дает уже не столько ранжировку планируемых систем по их эффективности, а скорее ранжировку систем по их важности внедрения в настоящее время.

Особенно существенно проведение рассмотренной процедуры на этапе выбора систем для их разработки и внедрения при распределении выделенных на автоматизацию производства ограниченных финансовых ресурсов, т. е. для выделения систем, претендующих на первоочередное внедрение.

Необходимо иметь в виду возможную сложность понимания рассмотренного экспертного понятия "обобщенная оценка эффективности автоматизации" руководством предприятия, поскольку оно отличается от привычных для них значений ожидаемой доходности затрат, базирующихся на прогнозируемой оценке дополнительной прибыли от внедрения системы. Эти значения в виде интегрального экономического эффекта и срока окупаемости им всегда предоставляют разработчики любой автоматизированной системы контроля и/или управления, хотя в ряде случаев они являются абсолютно произвольными, поскольку в известные формулы расчета экономической эффективности подставляются исходные данные о дополнительной прибыли от внедрения системы, полученные достаточно простым и давно известным путем, носящим название "Пол, потолок и четыре стены".

Ввиду этого принятие заказчиками непривычного, но обоснованного экспертного понятия прогнозируемой обобщенной оценки эффективности систем автоматизации требует специальных разъяснений как руководству предприятия, так и руководству службы автоматизации.

Расчет эффективности действующей системы автоматизации

Совершенно другая ситуация и другие трудности наблюдаются при оценке эффективности функционирующих систем автоматизации. В этом случае отсутствует задача сопоставления эффективности разных систем автоматизации, не требуется определять интегральный экономический эффект и срок окупаемости уже внедренной системы, а ставится задача оценки эффективности данной системы автоматизации в текущий период времени и может ставиться задача сравнения эффективности функционирования данной системы автоматизации в разные периоды времени (например, в настоящее время и год назад). Здесь не требуются какие-либо предположения о возможных вариантах использования полученной от системы автоматизации информации операторами и обслуживающим персоналом. Все исходные данные по непосредственному влиянию системы автоматизации и косвенному ее влиянию через персонал на автоматизируемый процесс фиксируются и могут быть использованы для расчета эффективности. Фактически эти исходные данные представляют собою разности различных показателей автоматизируемого процесса в двух режимах его работы: без рассматриваемой системы автоматизации (условно, в ручном режиме) и при работе этой системы автоматизации. К таким анализируемым показателям относятся дисперсии и средние значения различных режимных и выходных величин автоматизируемого процесса, средние значения потребляемых им материальных и энергетических ресурсов, объемы производимой продукции и ее среднее качество, среднее время простоя оборудования и т. д.

Практическое определение изменения любого из этих показателей от внедренной системы автоматизации на действующем производственном объекте содержит ряд трудностей. Все они обусловлены тем, что требуют сопоставления по значениям указанных показателей двух режимов работы объекта, отличающихся только тем, что при первом, базовом (ручном) режиме исследуемая система автоматизации отключена, а во втором — она работает. Однако, поскольку эти режимы могут функционировать только последовательно во времени, гарантировать их идентичность по всем характеристикам и свойствам, за исключением функционирования системы автоматизации, никак нельзя. Более того, можно с уверенностью сказать, что в подавляющем большинстве случаев значения различных режимных и выходных величин, а также любых показателей функционирования процесса в разные интервалы времени различаются в большей или меньшей степени в силу целого ряда причин. К основным причинам можно отнести:

- случайные изменения во времени качества материальных потоков, поступающих в объект, которые могут носить как стационарный, так и нестационарный характер;

- случайные изменения во времени показателей энергетических потоков, используемых объектом;
- стационарные и нестационарные колебания параметров внешней среды, влияющих на характеристики режима работы объекта;
- случайные и детерминированные изменения свойств оборудования объекта во времени;
- проводимые в отдельные моменты времени организационные, технические, технологические мероприятия (никак не связанные с автоматизацией), влияющие на эффективность работы объекта.

Все эти причины в совокупности приводят к тому, что поведение величин и показателей работы объекта во времени носит характер случайных стационарных или нестационарных процессов. В этих условиях действия совокупности причин, изменяющих параметры работы объекта, требуется выделить те изменения величин и показателей, которые обусловлены только функционированием анализируемой системы автоматизации. Существует ряд методов реализации промышленного эксперимента, решающих данную задачу при различных типах возмущений и существующих производственных ограничениях. Ниже приведен один из них, имеющий достаточно широкую область применения и подробно обоснованный ранее [2].

Метод оценки изменений значений показателей работы объекта, вызванных внедрением системы автоматизации

Метод применим для определения изменения показателей производства, связанных с работой систем автоматизации производственных объектов, отличающихся следующими свойствами:

- непрерывный тип производственных процессов;
- случайный характер действующих на объект возмущений;
- случайное стационарное или нестационарное поведение величин объекта во времени.

Анализируемой величиной при смене режима функционирования объекта с базового (ручного) на автоматизированный режим почти всегда можно считать изменение средних значений некоторых показателей (например, производительности, качества, сортности выпускаемой продукции, брака полуфабрикатов или готовой продукции, материальных и/или энергетических затрат, себестоимости), которые в подавляющем большинстве случаев переводятся в количественные значения дополнительной прибыли от системы автоматизации. Отметим, что часто задачей системы автоматизации, являющейся контуром автоматического регулирования, является уменьшение среднеквадратичного разброса регулируемой величины; но оно либо непосредственно, либо косвенно (через смену задания системе регулирования) приводит к изменению средних значений каких-либо показателей работы объекта автоматизации.

Рассматриваемый метод заключается в проведении специального промышленного эксперимента,

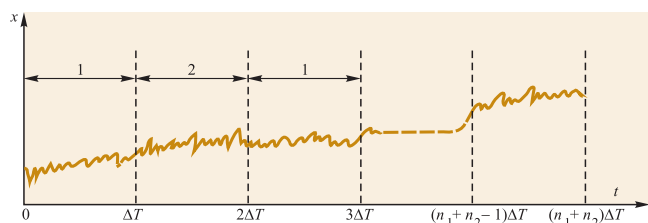


Рис. 1. График проведения эксперимента по определению изменения среднего значения некоторого показателя X , где 1 – базовое (ручное) управление; 2 – автоматизированное управление

состоящего из чередующейся во времени последовательности включений/отключений исследуемой системы автоматизации. Это дает возможность за достаточно короткое время практически оценить с необходимой точностью достигнутую эффективность системы автоматизации в реальных условиях действующего промышленного производства.

Искомые параметры эксперимента: общая его длительность и число переключений по смене режима (или интервал времени работы объекта в каждом режиме) определяются заданной погрешностью оценки показателя эффективности.

Во время проведения эксперимента на работу объекта установлены следующие ограничения:

- объект выпускает один и тот же вид продукции;
- не происходит резкой, имеющей характер разового скачка, смены качества материальных и энергетических ресурсов.

Следует сразу отметить, что проведение такого эксперимента требует определенной организационной работы и некоторых затрат. В частности, важно, чтобы отдельные интервалы эксперимента приходились на смены разных операторов, что позволяет усреднить влияние их квалификации на результаты эксперимента.

Как показано на рис. 1, общая длительность эксперимента состоит из чередующихся n_1 интервалов работы объекта в базовом (ручном) режиме и n_2 интервалов работы в автоматизированном режиме. Длительность каждого интервала принимают одинаковой и равной ΔT . Общая длительность всего эксперимента равна:

$$T = \Delta T(n_1 + n_2). \quad (1)$$

Значение ΔT не должно быть чрезмерно малым. Оно должно быть значительно больше переходных процессов в объекте по всем величинам, изучаемым на предмет их изменения за счет автоматизации.

Рассмотрим методику проведения эксперимента по определению изменения среднего значения некоторого показателя X , характеризующего эффективность системы автоматизации.

Пусть m_1 является оценкой среднего значения величины X при базовом режиме работы объекта:

$$m_1 = \frac{1}{n_1 \Delta T} \times \left[\int_0^{\Delta T} x(t) dt + \int_{2\Delta T}^{3\Delta T} x(t) dt + \dots + \int_{(n_1+n_2-2)\Delta T}^{(n_1+n_2-1)\Delta T} x(t) dt \right]. \quad (2)$$

Тогда оценка среднего значения величины X при автоматизированном режиме работы объекта m_2 определяется по формуле:

$$m_2 = \frac{1}{n_2 \Delta T} \times \left[\int_{\Delta T}^{2\Delta T} x(t) dt + \int_{3\Delta T}^{4\Delta T} x(t) dt + \dots + \int_{(n_1+n_2-1)\Delta T}^{(n_1+n_2)\Delta T} x(t) dt \right]. \quad (3)$$

Искомым значением показателя эффективности автоматизации является наблюдаемое изменение оценок среднего значения величины X :

$$\Delta m = m_2 - m_1. \quad (4)$$

Погрешность определения показателя эффективности Δm при проведении рассматриваемого эксперимента целесообразно оценить по отношению к флуктуациям самой величины X во времени при базовом режиме работы. В этом случае относительная дисперсия оценки Δm :

$$\eta^2 = \sigma_{\Delta m}^2 / \sigma_x^2,$$

где $\sigma_{\Delta m}^2$ – дисперсия оценки Δm , σ_x^2 – дисперсия флуктуаций во времени величины X при базовом режиме.

Дисперсия оценки Δm зависит от общей длительности эксперимента T и числа переключений $n = n_1 + n_2$ или (что то же самое) от интервала ΔT .

Опуская все промежуточные выкладки, приведем результат оценки параметров эксперимента в зависимости от заданной погрешности определения показателя эффективности в виде относительной дисперсии оценки Δm – η^2 . Эта зависимость в виде графика представлена ниже на рис. 2. Чтобы привести этот график к относительным единицам не только по дисперсии, но и по временной координате, последняя умножена на параметр α , являющийся показателем экспоненты, которой аппроксимирована корреляционная функция случайных флуктуаций величины X в базовом режиме:

$$R_x(t) = \sigma_x^2 e^{-\alpha|t|}.$$

Как видно из приведенного графика, погрешность оценки η^2 уменьшается с увеличением длительности эксперимента T и уменьшением длительности интервала между соседними переключениями ΔT . По графику можно определить план и параметры проведения эксперимента по заданной погрешности оценки η^2 и ограничению на время проведения эксперимента T .

Для упрощения использования данного графика можно применить приближенный способ оценки параметра корреляционной функции α , который заключается в подсчете по временной реализации величины X в базовом режиме числа пересечений процессом $x(t)$ среднего значения этой реализации m_1 за единицу времени t , которое обозначим l_x . При этом линию среднего значения реализации m_1 устанавливают приблизительно по записи реализации $x(t)$. За единицу времени принимают ту единицу, в масштабе которой измерены интервалы ΔT и T . Параметр α связан приближенной зависимостью с параметром l_x :

$$\alpha = l_x / 0,39. \quad (5)$$

Рекомендуемая последовательность шагов по оценке искомых параметров эксперимента.

1. Задаемся средней квадратичной погрешностью оценки показателя эффективности $\sigma_{\Delta m}$.

2. По имеющейся записи реализации процесса $x(t)$ в базовом режиме работы объекта вычисляем его дисперсию σ_x^2 и параметр его корреляционной функции α .

3. Определяем необходимую относительную дисперсию погрешности оценки показателя эффективности η^2 .

4. Оцениваем время переходного процесса в объекте от входных возмущений для величины $X - t_{пер}$.

5. Учтем, что график на рис. 2 построен в предположении, что это время переходного процесса равно нулю (т. е. что при каждой смене режима моментально устанавливается новое значение X , соответствующее этому режиму); поэтому на практике при ненулевом переходном процессе для оценки средних значений $m_2 - m_1$ следует не принимать в расчет части реализаций ΔT процесса X , следующие непосредственно за моментом переключения и по времени соответствующие времени переходного процесса. Иначе говоря, необходимо рассчитанный по графику интервал ΔT увеличить на время переходного процесса: $\Delta T_{ист} = \Delta T + t_{пер}$. Из-за этого действительное время проведения эксперимента $T_{дейст} = T + t_{пер}(n_1 + n_2)$ или, учитывая (1), получаем:

$$T_{дейст} = T(1 + t_{пер}/\Delta T). \quad (6)$$

6. Задаемся некоторым соотношением $t_{пер}/\Delta T$ (например, $t_{пер}/\Delta T = 1$, то есть в каждом истинном интервале эксперимента используем для расчета среднего значения m_1 или m_2 вторую по времени половину интервала). По этому соотношению вычисляем требуемое ΔT и по известным значениям ΔT , η^2 , α , используя график рис. 2, определяем время T . Формула (6) преобразует это время в действительное время проведения эксперимента, а формула (1) определяет число переключений за время эксперимента.

После определения параметров эксперимента n_1 , n_2 , $\Delta T_{ист}$, $T_{дейст}$ можно приступить к его реализации на объекте автоматизации. Фиксация наблюдаемого в эксперименте случайного процесса показателя X , характеризующего эффективность системы автоматизации, позволяет вычислить по формуле (2) оценку

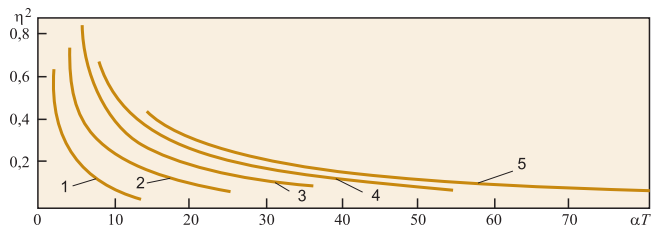


Рис. 2. Зависимость относительной погрешности оценки η^2 от относительной длительности эксперимента αT и относительной длительности интервала между переключениями $\alpha \Delta T$, где 1 — $\alpha \Delta T = 1$; 2 — $\alpha \Delta T = 2$; 3 — $\alpha \Delta T = 3$; 4 — $\alpha \Delta T = 5$; 5 — $\alpha \Delta T = 10$

среднего значения величины X при базовом режиме работы объекта — m_1 ; по формуле (3) — оценку среднего значения величины X при автоматизированном режиме работы объекта — m_2 ; по формуле (4) — искомое значение показателя эффективности автоматизации (наблюдаемое изменение оценки среднего значения величины X) — Δm .

Отдельно следует отметить, что описанная методика сопоставления эффективности ручного и автоматизированного режимов управления может использоваться и в другом важном для практики случае: при сопоставлении эффективности двух автоматизированных режимов управления, отличающихся разной настройкой или разной структурой сравниваемых систем автоматизации. В этом случае базовым режимом является не ручной режим, а реализуемый на объекте режим при работе одной из систем автоматизации.

Полученная оценка Δm в большинстве случаев может использоваться для расчета существующей годовой дополнительной прибыли от работы рассматриваемой системы автоматизации. Для этого по полученной оценке Δm , в зависимости от ее физического содержания, определяют суммарное изменение данного показателя эффективности за год работы системы автоматизации и затем переводят это изменение в стоимостный показатель.

Список литературы

1. Виленский П., Лившиц В., Смоляк С. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Изд. Дело. 2002.
2. Ицкович Э., Клоков Ю., Цатурова И. Статистическая оценка фактического экономического эффекта автоматизации // Автоматика и телемеханика. 1975. №1.

Ицкович Эммануил Львович — д-р техн. наук, проф., зав. лабораторией Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.

Контактный телефон (495) 334-90-21.

Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

- в России — в любом почтовом отделении по каталогу "Газеты. Журналы" агентства "Роспечать" (подписной индекс **81874**) или по каталогу "Пресса России" (подписной индекс **39206**).
 - в странах СНГ и дальнего зарубежья — напрямую или через подписные агентства-партнеры ЗАО "МК-Периодика".
- Информация о журнале имеется также на сайте ЗАО "МК-Периодика" — www.periodicals.ru

Все желающие, вне зависимости от места расположения, могут оформить подписку, начиная с любого номера, прислав заявку в редакцию или заполнив анкету на сайте www.avtprom.ru
В редакции также имеются экземпляры журналов за прошлые годы.