

В. В. Мыльник, д-р экон. наук, профессор,
Л. Б. Каспаров, аспирант,¹
г. Москва

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ И ОЦЕНКИ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ

В статье рассматривается сущность и понятие современных АСУ ТП в контексте комплексной автоматизации производства. Авторами анализируются основные функции АСУ ТП согласно их делению на три группы: управляющие, информационные и вспомогательные. В статье приводится модель выбора критерия для оценки эффективности АСУ ТП. Для оценки социально-экономической эффективности АСУ ТП предлагаются критерии чистого дисконтированного дохода и внутренней нормы рентабельности. Также авторами проанализированы влияние инфляции и рисков на создание и реализацию АСУ ТП. Приводится описание метода минимизации влияния рисков на процесс построения АСУ ТП.

Ключевые слова: автоматизация производства, автоматизированные системы управления, инвестиции, критерии оценки эффективности, программно-технические комплексы, риски, инфляция.

Автоматизация управления промышленным производством на базе создания и реализации автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) является одной из важнейших проблем научно-технического прогресса. Под АСУ ТП понимается человеко-машинная система управления, обеспечивающая автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации управления технологическими процессами в соответствии с принятыми критериями. Ее важность определяется тем, что традиционные ручные методы изготовления продукции не обеспечивают достаточно высокого уровня качества продукции, а также повышения производительности труда и

улучшения социальных условий трудящихся, которые находятся в процессе производства. Только лишь широкое применение компьютерной техники, станков с ЧПУ и робототехники, объединяемых в АСУ ТП, способствует улучшению использования всех организационных и технических средств производства продукции с одновременным высвобождением из сферы производства рабочих различных профессий и частичным сокращением инженерного состава [1].

Как показывает опыт создания и реализации АСУ ТП, существуют два пути автоматизации управления производством продукции. Первый – это автоматизация без совершенствования сложившейся структуры производства и без оптимизации производственных процессов. Этот путь менее эффективен по сравнению со вторым, базирующимся на коренном усовершенствовании производственной структуры и оптимизации производственных процессов. Особенно эффективна автоматизация управления производством, если она базируется на точных методах организации труда, являю-

¹ Мыльник Владимир Владимирович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой финансового менеджмента МАТИ – Российского государственного технологического университета имени К. Э. Циолковского; e-mail: vvm9@narod.ru.

Каспаров Левон Борисович – аспирант кафедры финансового менеджмента МАТИ – Российского государственного технологического университета имени К. Э. Циолковского; e-mail: kasparov808@bk.ru.

щихся наиболее совершенными формами организации производства.

В современных условиях развития АСУ ТП идет процесс применения промышленных технологий при их создании и реализации на базе серийно выпускаемых промышленных контроллеров, совместимых с современными персональными компьютерами и мощными программно-техническими комплексами (ПТК) с использованием поддержки программирования АСУ ТП – SCADA, а также развития и стандартизации сетевых технологий. Как правило, построение АСУ ТП осуществляется на основе концепции открытых систем, что позволяет различными производителями обеспечить высокую степень интеграции своих программно-аппаратных элементов и обеспечить проверку всей системы. При таком подходе значительно уменьшается общая стоимость системы в результате применения более дешевого оборудования при аналогичных функциональных характеристиках и поэтапной замене имеющихся на предприятии аппаратно-программных средств. Важнейшими свойствами открытых систем являются мобильность прикладных программ и четкие условия взаимодействия отдельных частей системы с использованием открытых спецификаций [2].

АСУ ТП предназначены для выработки и реализации управляющих воздействий на технологический объект управления (ТОУ). ТОУ представляет собой совокупность технологического оборудования, предназначенного для реализации на нем определенного технологического процесса производства. К технологическим объектам управления, в основном, относятся:

- технологические агрегаты и установки (группы станков), самостоятельно реализующие технологические процессы;
- отдельные производства (участки, цехи) или производственный процесс всего промышленного предприятия.

При создании и реализации АСУ ТП, как правило, определяются цели их функционирования в общей автоматизированной системе управления предприятием (АСУП, ERP). Таким целями могут быть:

- рост объемов выпускаемой продукции;
- снижение себестоимости продукции;
- повышение качества выходного продукта или обеспечение заданных значений изготавливаемой продукции;
- оптимизация режимов работы технологического оборудования, в том числе маршрутов обработки в дискретных производствах;
- улучшение условий труда рабочих в основном и вспомогательном производстве;
- улучшение экологической обстановки в сфере производства.

Действие системы представляет собой определенную и описанную в эксплуатационной документации последовательность операций и процедур, выполняемых всем комплексом технических средств системы или его отдельными устройствами. Основными функциями системы являются управляющие, информационные и вспомогательные. К *управляющим функциям* относятся:

- регулирование отдельных переменных во всей системе управления;
- одноктактное логическое управление операциями или отдельными аппаратами;
- оптимальное управление установившимися технологическими процессами;
- самонастройка автоматизированных участков с числовым программным управлением.

Информационные функции АСУ ТП представляют собой функции системы, содержанием которых является сбор, обработка и представление информации об автоматизированном технологическом ком-

плексе оперативному персоналу или передача этой информации в АСУП (ERP). К информационным функциям относятся:

- измерение и контроль технологических параметров при производстве продукции;
- косвенное измерение отдельных параметров, касающихся технико-экономических показателей;
- формирование и передача определенных данных оперативному персоналу АСУ ТП;
- подготовка и передача информации в АСУП;
- окончательная оценка параметров АСУ ТП и оценка их эффективности.

Отличительной особенностью управляющих и информационных функций является их целевая направленность на конкретного потребителя, включая объект управления, оперативный персонал, АСУП (ERP) [3].

Вспомогательные функции обеспечивают решение внутрисистемных задач. Они не имеют потребителей вне системы и обеспечивают функционирование АСУ ТП. В зависимости от степени участия людей в выполнении функций системы различают автоматизированный и автоматический режимы реализации функций. При этом автоматизированный режим реализации управляющих функций характеризуется участием человека в выработке и принятии решений, а также их реализации. В автоматическом режиме все необходимые процедуры обработки информации реализуются без участия человека.

АСУ ТП представляют собой системы управления, отличающиеся от систем автоматического регулирования (САР), которые предназначены для стабилизации режимов происходящих процессов и агрегатов. Основной целью САР является оптимальная обработка задания, обеспечивающего стабилизацию требуемого технологического процесса. Структурное построение АСУ ТП, в отличие от САР, предусматривает обязательное участие

человека-оператора в принятии решений по управлению объектом управления. При этом критериями оптимальности технологических режимов являются технико-экономические показатели, учитывающие удельные расходы сырья, материалов, топлива, энергии и других составляющих себестоимости продукции [9].

Одним из важных методологических аспектов в общей теории и методологии создания и реализации АСУ ТП с учетом их качества и надежности является их экономическое обоснование. Создание и реализация таких систем управления связаны с вложением достаточно больших капитальных вложений и текущих затрат. Экономическое обоснование проводится в следующей последовательности:

- на первоначальной стадии проводится выбор критериев оценки эффективности создаваемых АСУ ТП в зависимости от поставленных целей;
- осуществляется сбор и обработка необходимой информации для проведения экономических расчетов;
- определяются факторы и источники образования эффекта от реализации АСУ ТП;
- рассчитываются затраты и результаты;
- определяется эффективность реализуемых АСУ ТП;
- принимается решение о стратегии вложений в реализацию и эксплуатацию систем управления.

Методологические аспекты оценки эффективности АСУ ТП должны не только предусматривать определение их эффективности, но и учитывать, как изменяются показатели эффективности по сравнению с настоящим положением проводимых затрат и получаемых результатов.

Одним из важных теоретических аспектов является выбор однокритериального или многокритериального подхода к оценке эффективности АСУ ТП. Существенным отличием многокритериального подхода

к решению поставленной задачи от однокритериального подхода является наличие в моделях нескольких критериев оптимальности. Такое обстоятельство обуславливает ряд особенностей моделирования многокритериальных задач.

Первая особенность состоит в том, что одни и те же условия (требования) экономической постановки задачи могут быть формализованы и в виде ограничений модели, и в качестве критериев оптимальности. Пусть некоторое условие (требование) модели задачи можно сопоставить с целевой функцией модели $f(x)$, где X – план решения задачи. Причем выполнение условия описывается неравенством $f(x) \geq C$. Значение параметра C часто неизвестно с достаточной точностью. Однако, в большинстве случаев можно указать такое минимальное значение C , что любой план должен удовлетворять неравенству $f(x) \geq C$. В то же время для оптимального плана желательно выполнение неравенства $f(x) \geq C^* > C$. Вводить в модель ограничение $f(x) \geq C^*$ нецелесообразно, так как нет гарантии его выполнения. Поэтому рассматриваемое условие (требование) вводятся в модель в виде ограничения $f(x) \geq C^*$ и в виде критерия $f(x) \rightarrow \max$. На разных стадиях моделирования условия такого типа могут принимать форму или ограничения, или критерия.

Назовем ограничение вида $f(x) \geq C$ жестким, если значение постоянной « C » заранее определено, т. е. входит в состав исходных данных и не может быть изменено разработчиком модели по его усмотрению. Нежестким следует считать аналогичное ограничение, в котором значение C может изменяться разработчиком модели в определенных пределах [4].

Вторая особенность заключается в том, что при моделировании многокритериальных задач возникают критерии трех типов. Те критерии, которые возникают при формулировании экономической постановки задачи, назовем исходными. Они поро-

даются экономической сущностью задачи. В планово-экономическом значении эти критерии должны иметь простой экономический смысл. Например, критерии в виде дохода, прибыли, минимизации себестоимости продукции.

При построении экономико-математической модели возникают критерии, которые можно назвать модельными. Например, они могут возникнуть в результате преобразования или дублирования нежестких ограничений, для обеспечения корректности модели. Эти критерии не обязательно имеют явную экономическую сущность. При разработке любого метода могут возникнуть критерии третьего типа – алгоритмические. Они вводятся в модель в том случае, когда алгоритм построения искомого плана является многоэтапным и не удастся обеспечить эффективную оптимизацию по всем исходным или модельным критериям на некоторых этапах. Такая ситуация имеет место при декомпозиции модели.

Третьей особенностью моделирования многокритериальных задач является необходимость отбора критериев, имеющих принципиальное значение для экономики предприятия или бизнеса. В этом случае при формулировке экономической постановки задачи число критериев не ограничивается. При этом если при однокритериальном подходе к моделированию на этапе формулировки экономической задачи из множества критериев нужно выбрать единственный, то при многокритериальном подходе задача состоит в том, чтобы оставить в модели наиболее существенные критерии, не зависящие друг от друга. Понятие существенности критериев означает, что они должны отражать главные цели деятельности предприятия, составляющие сущность моделируемой задачи, а также ее качества, по которым может производиться окончательный выбор оптимального плана [5].

Другими требованиями, предъявляемыми к критериям, являются формализуемость и реализуемость. Формализуемость крите-

рия означает, что он должен допускать корректное математическое описание в виде определенной целевой функции на множестве планов оптимизационной задачи. Различают модельную (вычислительную) и информационную реализуемость критерия. Учет модельной и информационной реализуемости особенно актуален в случае практического моделирования задач.

Условие вычислительной реализуемости трактуется как устранимое и неустрашимое. Во втором случае имеет место ситуация, когда вообще неизвестны эффективные методы оптимизации планов по данному критерию. В этом случае он не должен вводиться в модель задачи. Если же речь идет о больших вычислительных трудностях оптимизации по этому критерию, то это может служить препятствием к практическому, но не к теоретическому использованию критерия. Важнейшей характеристикой критерия модели является его достоверность, под которой понимается степень соответствия между качественными действительными соотношениями и их отражением в критерии [6].

Как показал проведенный анализ создания и реализации АСУ ТП, для оценки их эффективности следует применять многокритериальные оценки. Такое положение взаимосвязано с двумя случаями. В первом случае цель состоит в определении количественной величины получаемых во времени результатов с помощью критерия «чистый дисконтированный доход» (NPV). Второй случай связан с проверкой достоверности получаемых результатов с применением критерия «внутренняя норма рентабельности» (IRR) вложенных в АСУ ТП капитальных вложений и текущих затрат.

В основе метода, базирующегося на критерии чистого дисконтированного дохода, заложено следование основной целевой установке – повышение ценности создаваемых АСУ ТП. Этот метод основан на сопоставлении величины вложений в АСУ ТП с общей суммой дисконтирован-

ных чистых денежных поступлений, генерируемых в течение прогнозируемого периода. Чистый денежный поток ($Cash Flow$) рассчитывается как разность между реальным притоком и оттоком денежных средств за определенный интервал времени. Процедура дисконтирования состоит в умножении денежных потоков, имеющих место на t -м интервале времени вкладываемых средств на ставку дисконтирования (r). Экономический подход, основанный на процедуре дисконтирования, базируется на предположении, что потенциальный инвестор, который имеет в определенный момент времени сумму денежных средств (PV), может их вложить в некоторый источник накопления средств [7].

Чистый дисконтированный доход определяется как разность дисконтированных денежных поступлений и платежей за весь инвестиционный период в АСУ ТП следующим образом [3]:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CIF_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{COF_t}{(1+r)^t}, \quad (1)$$

где CIF_t – входной денежный поток в t -м интервале времени;

COF_t – выходной денежный поток в t -м интервале времени;

T – период времени функционирования АСУ ТП.

В том случае, если инвестиции в АСУ ТП осуществляются одновременно, тогда NPV можно определить по формуле:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{NCF_t}{(1+r)^t} - I, \quad (2)$$

где NCF_t – чистый денежный поток, рассчитываемый как разность между входным и выходным денежным потоком;

I – единовременные инвестиции в АСУ ТП.

В результате проводимых расчетов эффективности АСУ ТП положительное значение NPV означает целесообразность вложения инвестиций в разрабатываемые проекты. При этом на практике всегда стре-

мятся получить максимальный NPV . Выбор критерия максимизации NPV связан с тем, что он имеет определенные достоинства по сравнению с другими критериями оценки инвестиционных проектов в АСУ ТП. Основными достоинствами этого критерия являются:

- учет эффективности капитальных вложений использования финансовых, материальных и трудовых ресурсов;
- сравнительная простота проводимых расчетов;
- наиболее полная характеристика уровня отдачи на вложения инвестиций в АСУ ТП;
- возможность учета всех составляющих факторов и источников образования социально-экономических результатов, в том числе учет инфляционных процессов и риска;
- достаточная информативность и объективность, удобство для автоматизации проводимых расчетов эффективности вкладываемых инвестиций.

Данный критерий имеет определенные недостатки, к которым относятся следующие:

- сравнительная зависимость результатов проводимых расчетов от выбранной ставки дисконтирования, так как при достаточно высоком ее уровне отдельные денежные потоки оказывают сравнительно малое влияние на величину NPV ;
- невозможность характеризовать минимальный резерв безопасности вложения инвестиций в АСУ ТП;
- недостаточно высокий уровень учета достоверности используемых при проводимых расчетах исходных данных.

В связи с этим при оценке эффективности разрабатываемых и реализуемых на практике АСУ ТП вводится в качестве проверочного критерий внутренней нор-

мы рентабельности (IRR). Под внутренней нормой рентабельности (внутренней доходностью, внутренней окупаемостью) понимается значение ставки дисконтирования, при которой современная стоимость вложений равна нулю: $IRR = r$, при которой $NPV = f(r) = 0$. Экономический смысл расчета ставки дисконтирования при анализе эффективности планируемых инвестиций в АСУ ТП заключается в следующем: IRR показывает максимально допустимый оптимальный уровень расходов, которые могут быть ассоциированы с данными вложениями. Например, если вложения в АСУ ТП полностью финансируются за счет кредитов коммерческого банка, то значение IRR показывает верхнюю границу допустимого уровня банковской процентной ставки, превышение которой делает убыточными вложения в АСУ ТП. Внутренняя норма рентабельности инвестиций, вкладываемых в АСУ ТП, определяется по формуле:

$$\sum_{t=0}^T \frac{CIF_t}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{COF_t}{(1+IRR)^t}, \quad (3)$$

где IRR – ставка внутренней нормы рентабельности инвестиций, вкладываемых в АСУ ТП.

Величину IRR можно определить с помощью графического метода (рис. 1).

Для этого строится график, значений NPV при различных ставках дисконта. При этом значение ставки дисконта, при котором график пересекает ось абсцисс и определяет искомое значение IRR ($IRR_1, IRR_2, \dots, IRR_n$) в зависимости от определенного инвестиционного проекта.

При проводимых расчетах эффективности АСУ ТП немаловажную роль играют учет инфляционных процессов и риска. Инфляционные процессы и риск учитываются при проводимых расчетах ставки дисконтирования. При оценке эффективности инвестиционных проектов необходимо учитывать такой фактор, как инфляция. Инфляция представляет собой процесс, характеризующийся повышением обще-

го уровня цен в экономике и повышением цен на отдельные виды ресурсов (продукцию, услуги, труд, материальные ресурсы и т. д.). Инфляционные процессы учитывают, выполняя расчеты эффективности проектов в постоянных (базисных) ценах и текущих (прогнозных) ценах. В этом случае для определения коэффициента дисконтирования используется реальная и номинальная ставка процента [3].

Инфляция в конце шага расчета t_2 по отношению к начальному моменту t_0 , предшествующему первому шагу, характеризуется:

- индексом изменения цен ресурсов $J(t_2, t_n)$, т. е. отношением цены ресурса в конце шага t_2 к цене того же ресурса в момент t_n (t_n – момент приведения);
- уровнем инфляции $y(t_2, t_0)$, определяемым следующим соотношением:

$$y(t_2, t_n) = J(t_2, t_n) - 1, \quad (4)$$

На показатели эффективности инвестиционных проектов по созданию АСУ ТП в основном оказывают влияние неоднородность инфляции по видам продукции и ре-

сурсов, а также превышение уровня инфляции над ростом курса иностранной валюты. Инфляционные процессы влияют на эффективность проектов не только в денежном выражении, но и в натуральном. Инфляция приводит к переоценке финансовых результатов как от проектов, так и в натуральном выражении. В конечном итоге это приводит к изменению плана реализации проекта [8].

Далее следует проанализировать влияние на проект по созданию АСУ ТП рисков. Риск (от греч. *risikon* «уτες») – потенциальная вероятность получения неблагоприятных или положительных результатов от какой-либо деятельности или проекта. Риски представляют собой неопределенность, связанную с возможностью возникновения в будущем неблагоприятных ситуаций и последствий. Другим понятием рисков является величина возможного ущерба или выигрыша, связанных с будущим событием, в результате принятия определенного решения. В настоящее время риски подразделяют на две группы: внутренние и внешние. По своей сущности и содержанию они являются противоположными. Внутренние риски в большей своей части находятся в

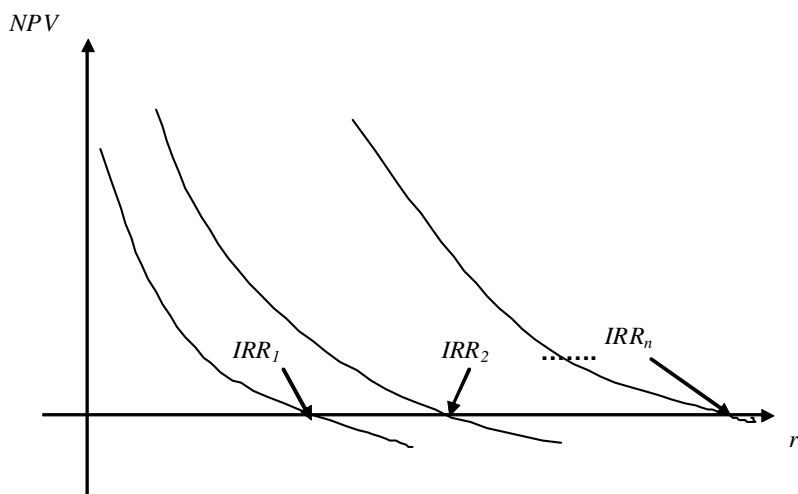


Рис. 1. График определения внутренней нормы рентабельности

зависимости от финансово-хозяйственной деятельности предприятия. Управленческий персонал организации может активно влиять на внутренние риски. Поэтому они называются управляемыми. Внешние риски появляются независимо от внутренней деятельности организации и поэтому называются неуправляемыми. Хотя в определенной степени есть возможность предвидения внешних рисков и управления ими.

Организация и экономический механизм создания и реализации АСУ ТП должен включать специфические элементы, которые позволили бы уменьшить риски. Для этих целей используются заранее разработанные правила поведения участников в рискованных ситуациях. Создается координационный центр, который осуществляет синхронизацию действий участников при изменениях условий реализации проекта [10].

Для учета факторов риска при определении эффективности внедряемых АСУ ТП ис-

пользуется вся информация об условиях их реализации. В порядке повышения точности при этом могут использоваться два метода:

- проверка проекта создания АСУ ТП на устойчивость;
- корректировка соответствующих элементов проекта создания АСУ ТП.

Проверка проекта формирования АСУ ТП на устойчивость предусматривает разработку сценариев реализации проекта в наиболее вероятных будущих событиях. При этом не учитывается влияние факторов риска на норму дисконта. Устойчивость проекта будет только тогда, когда во всех рассмотренных ситуациях соблюдены интересы всех участников. Устойчивость проекта к изменениям условий реализации может определяться показателями предельного уровня объемов производства, цен производимой продукции и других параметров. Одним из важных показателей такого вида является точка безубыточности.

Список использованных источников

1. Гершберг А. Ф., Мусаев А. А., Нозик А. А., Шерстюк Ю. М. Концептуальные основы информационной интеграции АСУ ТП нефтеперерабатывающего предприятия. СПб. : Альянс-строй, 2003. 128 с.
2. Леньшин В. Н., Куминов В. В., Фролов Е. Б., Будник Р. А. Производственные исполнительные системы (MES) – путь к эффективному предприятию // САПР и графика. 2003. № 6. С. 93–96, 98.
3. Прилипка В. А., Карпов В. Я., Красовский В. Е. Модификация метода анализа иерархий для задач проектирования аппаратных средств АСУТП // Вопр. радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. 2009. № 3.
4. Проектирование АСУТП : метод. пособие. СПб. : ДЕАН, 2006.
5. Сердюков О. В., Нестуля Р. В., Кулагин С. А., Скворцов А. Н., Тимошин А. И., Дорошкин А. А., Сорокин И. В. Современные промышленные ПТК на базе Ethernet // Информатизация и системы управления в промышленности (ИСУП). 2011. № 1 (31). С. 21–24.
6. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. М. : Высш. шк., 2009.
7. Спиринов Н. А., Лавров В. В., Рыболов В. Ю., Краснобаев А. В., Онорин О. П., Косаченко И. Е. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки. Екатеринбург : ИздатНаукаСервис, 2011.
8. Яковлев К. А. Разработка информационной автоматизированной системы CALS-поддержки комплекса машин лесного комплекса // Воронеж. науч.-техн. вестн. 2013. № 1 (3).
9. Munch S., Brandsetter P., Clevermann C. The Return of Investment of Test Automation // Pharmaceutical Engineering Journal. July/August 2012. Vol. 32, № 4.
10. Serdyukov O. DCS with Homogeneous Architecture based on Ethernet Network // Proceedings of the IASTED International Conferences on Automation, Control, and Information Technology (ACIT 2010). Control, Diagnostics, and Automation. June 15–18, 2010. Novosibirsk, Russia. P. 11–14.