



УДК 658.1

А. Н. Мардас

Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Моделирование в управлении развитием производственно-экономических систем

Излагаются возможности совершенствования методов стратегического планирования и управления инновационным развитием производственно-экономических систем. Представлены модели комплексной оценки эффективности инвестиционно-инновационной деятельности.

Моделирование, управление, стратегический анализ, инновационное развитие, прогнозирование, производственно-экономическая система

В литературе инновационная деятельность трактуется как совокупность проектов по превращению потенциального научно-технического прогресса в реальный, означающий создание новых продуктов и технологий [1], что, естественно, предполагает управление. Одновременно следует отметить, что достижение цели проекта негарантировано, и в общем случае его структура (реально складывающийся порядок исполнения) и конечный результат остаются неопределенными. Причем данный вывод, справедливый в отношении отдельного проекта, в равной степени справедлив и для целой производственно-экономической системы (ПЭС), вставшей на путь инновационного развития. Именно для снижения неопределенности исхода и организуется управление инновационно-инвестиционной деятельностью, которое:

- конкретизирует общие цели, переводя их в задания исполнителям;
- выстраивает взаимосвязи основной и частных целей, определяет этапы и декомпозирует их на задачи, работы и процедуры;
- устанавливает рациональные объемы и порядок финансирования;
- осуществляет рациональный выбор исполнителей и контрагентов, в частности, через процедуры торгов и конкурсов;
- подготавливает и заключает контракты;

- определяет сроки выполнения работ, составляет график реализации проектов, рассчитывает и оптимизирует использование ресурсов;
- организует реализацию проектов;
- обеспечивает учет рисков и контроль достижения цели.

Реализуемость и эффективность решения любой из перечисленных задач на этапе планирования инвестиций могут быть оценены только на моделях. Иначе говоря, моделирование есть всеобщая методология инвестиционно-инновационной деятельности, реализуемая, как правило, через сценарный подход.

Математическое моделирование отдельного инновационного проекта для целей оценки его эффективности предполагает признание его активом, который способен генерировать денежные потоки в настоящем и будущем. Для успешного привлечения в проект стороннего инвестора по результатам моделирования необходимо представить такое обоснование, из которого следовало бы, что рыночная стоимость актива будет расти и составит величину, устраивающую инвестора с точки зрения рентабельности инвестиций. Вместе с тем следует понимать, что эффективность даже одного инновационного проекта носит комплексный характер и наряду с коммерческой привлекательностью определяется его экономическими,

т. е. затратными для разработчиков, параметрами. Еще в большей степени этот вывод справедлив для оценки эффективности программы инновационного развития целого народно-хозяйственного комплекса. Иначе говоря, оценка перспектив и выбор мер управления инновационным развитием ПЭС не могут быть сведены только к бухгалтерским расчетам по формированию и сравнению денежных потоков, что весьма характерно для существующих подходов. Оценочный аппарат должен быть гораздо более широким, носить комплексный характер и в максимальной степени снижать неопределенность будущего.

В числе первых методов моделирования развития как такового, а значит и управления проектами, в конце 50-х гг. XX в. были разработаны методы сетевого планирования и управления (СПУ, в англоязычной литературе – методы СРМ и PERT) [2], которые позволяли в первую очередь оценивать сроки их реализации. Эти подходы можно использовать и для оценки экономической результативности (эффективности), если в сетевой модели проект отражен элементами денежных потоков (поступлениями и выплатами) как событиями. Однако методы СРМ и PERT малоэффективны в инновационных процессах, поскольку предполагают необходимым условием реализуемости соответствующего проекта выполнение каждой из дуг сети. (Под выполнением дуг сети понимается выполнение соответствующих операций проекта, под выполнением узла – наступление события, означающего начало или завершение операции.) Из этого условия следует, что в сетевую модель не могут быть включены операции с обратной связью, поскольку они представляются петлями, существование которых, в свою очередь, означает, что конечный узел операции должен быть выполнен раньше ее начального узла. Иначе говоря, традиционные методики оценки эффективности основаны на предположении, что руководство проекта в любых, даже неблагоприятных, обстоятельствах следует первоначально избранной тактике. В реальности же руководство может изменить первоначальный план, например, расширить (сузить) масштаб, изменить входы (выходы) процессов, наконец, отказаться от определенных действий. Поэтому простые сетевые графики описывают идеализированные, т. е. в практике не существующие проекты. Если даже допустить, что неопределенность инновационного процесса снижена его стохастическим описанием, придется учитывать, что реализация отражаемого сетевой моделью проекта возможна и

при выполнении только некоторого подмножества дуг, и путем повторного выполнения отдельных работ (дуг, составляющих сеть), что недопустимо в системах СРМ и PERT.

Для описания ситуаций с обратными связями и множеством различных исходов используют стохастические модели или GERT-сети (GERT-Graphical Evaluation and Review Technique) [3]. Узлы (вершины графа) в них интерпретируются как состояния системы, а дуги – как переходы из одного состояния в другое. Переходы тождественны выполнению обобщенных операций (мероприятий проекта), характеризуемых плотностью распределения (или функцией массы) и вероятностью выполнения.

Общий формализм системы GERT позволяет для сети, дуга (i, j) которой характеризуется некоторой случайной величиной и вероятностью выполнения дуги p_{ij} , путем введения W -функции, определяемой как

$$W_{ij}(s) = p_{ij}M_{ij}(s), \quad (1)$$

где $M_{ij}(s) = \int e^{sy_{ij}} f(y_{ij}) dy_{ij}$ – условная производящая функция моментов случайной величины y_{ij} с плотностью распределения $f(y_{ij})$ и параметром s , рассчитывать вероятность выполнения отдельных участков сети, а также математическое ожидание и дисперсию случайной величины Y , выступающей аналогом y_{ij} , но характеризующей систему в целом. В инвестиционно-инновационном планировании таковыми величинами могут быть величины притока и оттока денежных средств и стоимость проекта в целом соответственно.

С помощью GERT-сети можно описать ситуацию формирования денежных потоков, причем с гораздо большей адекватностью, нежели традиционный детерминированный бухгалтерский расчет чистой текущей стоимости (NPV).

Порядок моделирования состоит в следующем.

С помощью преобразования (1) всегда можно определить новую сеть G' , структура которой идентична структуре исходной сети G , но вместо двух параметров p_{ij} и y_{ij} у каждой из дуг присутствует только один параметр W_{ij} . Это существенно упрощает расчеты и позволяет получать оценки стоимости проекта в различных его исходах, имея единственное графоаналитическое представление.

Анализируемый вариант инвестиционно-инновационного процесса в ПЭС (вариант реализации отдельного инновационного проекта) представляют в виде стохастической сети с GERT-узлами. Для каждой дуги определяют условную вероятность случайного параметра y_{ij} , характеризующего мощность генерации денежного потока. Для каждой дуги сети, используя выражение (1), определяют W -функцию и осуществляют преобразование GERT-сети в эквивалентную сеть, содержащую лишь одну ветвь в замкнутом потоковом графе, для чего:

– замыкают данную сеть дугой A , ведущей из стока в исток, приписывая ей коэффициент пропускания $T_{ци} = W_A$;

– находят в графе все петли L_n с порядком n ($n = 1, \dots, N$), где N – наивысший порядок петли для данной сети;

– составляют топологическое уравнение для полученного замкнутого графа, имеющее вид

$$1 - \sum_{(i,j) \in L_1} T(L_1) + \sum_{(i,j) \in L_2} T(L_2) + \dots + (-1)^n \sum_{(i,j) \in L_n} T(L_n) + \dots + (-1)^N \times \sum_{(i,j) \in L_N} T(L_N) = 0,$$

где $T(L_n) = \prod_{k=1}^n \prod_{(i,j) \in L_{k1}} W_{ij}$ – эквивалентный коэффициент пропускания петли n -го порядка (L_k – k -я петля первого порядка в петле порядка n).

Физически данное топологическое уравнение отражает закон сохранения потока в сети: поток, вытекающий из любого узла, равен сумме потоков, водящих в него.

Далее, используя свойства W -функции, разрешают топологическое уравнение и получают выражение для эквивалентной W -функции (W_E) исходной стохастической сети:

$$W_E = \frac{1}{W_A}.$$

Для производящей функции выполняется $M_E(s) = 1$ при $s = 0$ [3]. Тогда, поскольку $W_E(s) = p_E M_E(s)$, то $p_E = W_E(0)$ и

$$M_E(s) = \frac{W_E(s)}{p_E} = \frac{W_E(s)}{W_E(0)}.$$

Далее отметим, что с помощью простейших преобразований параллельных и последовательных дуг эквивалентную функцию $W_E(s)$ можно выразить через W -функции всех или некоторых ветвей исходной сети. Нетрудно вычислить и значение $W_E(0)$: для этого в выражении для $W_E(s)$, получаемом из топологического уравнения, надо положить $s = 0$.

На следующем шаге, используя свойства производящей функции, для эквивалентной сети рассчитывают первый и второй моменты:

$$\mu_{1E} = \frac{\partial}{\partial s} [M_E(s)]_{s=0},$$

$$\mu_{2E} = \frac{\partial^2}{\partial s^2} [M_E(s)]_{s=0}$$

и определяют математическое ожидание $E(Y)$ и дисперсию $\sigma^2(Y)$ случайной величины (параметра сети) Y , характеризующей проект в целом:

$$E(Y) = \mu_1;$$

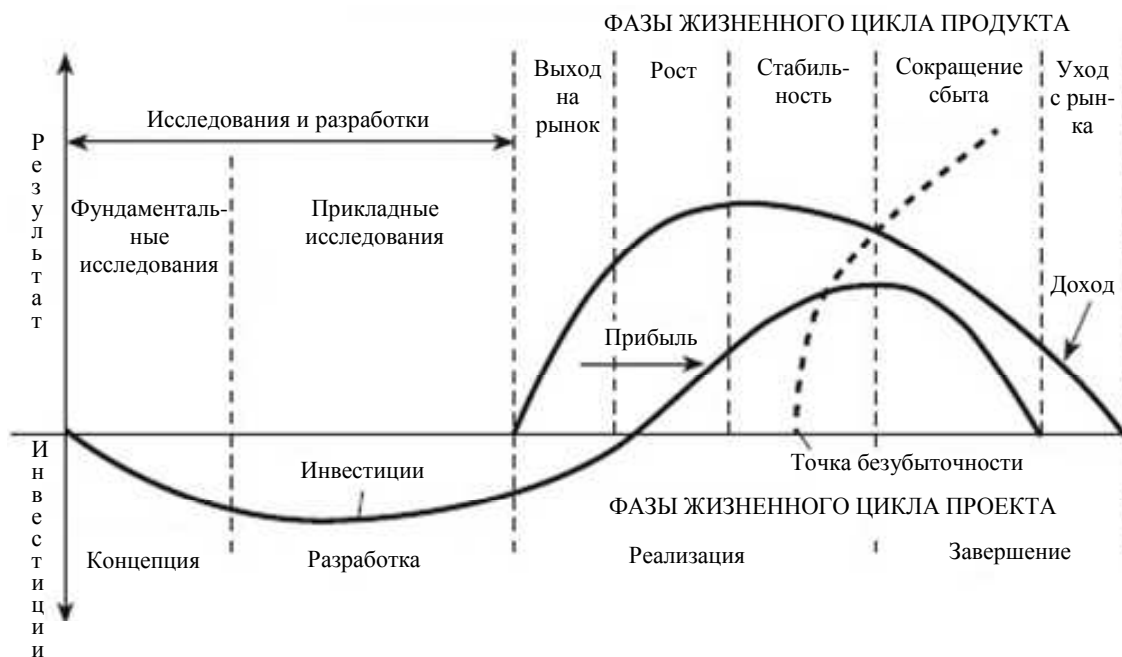
$$\sigma^2(Y) = \mu_2 - \mu_1^2.$$

По величинам $E(Y)$ и $\sigma^2(Y)$ можно устанавливать ожидаемые затраты и доходы инвестиционно-инновационного процесса (отдельного инновационного проекта), протекающего (реализуемого) в условиях стохастической неопределенности.

Модели комплексной оценки эффективности инвестиционно-инновационной деятельности ПЭС. Как было отмечено, комплексная оценка эффективности инновационного проекта предполагает детальный анализ его затратных параметров на этапе разработки. Следует это из рассмотрения жизненного цикла инновации (см. рисунок).

Рисунок хорошо иллюстрирует необходимость различать экономическую эффективность создания новшества и эффективность его коммерциализации как инновационного проекта. Вместе с тем только в совокупности эти аспекты формируют эффективность инвестиционно-инновационной деятельности. Причем при анализе перспектив ПЭС, в которой социальные проекты, как правило, преобладают, отмеченная комплексность становится определяющей при отборе целесообразного варианта развития.

На стадиях исследований и разработки приоритетом для разработчиков будет снижение затрат по превращению идеи в новшество (опытный



Притоки и оттоки денежных средств в инновационном проекте

образец). Оценка эффективности в этом случае значительно сложнее, нежели в традиционных производственных проектах, из-за необходимости учета факторов инновационного риска и прежде всего риска, связанного с технической реализуемостью. Поэтому непосредственно экономической оценке инновационного проекта должен предшествовать выбор соответствующей идеи из ряда альтернатив путем оценки их технической реализуемости.

Таким образом, каждому потенциальному инновационному проекту может быть присвоен индивидуальный рейтинг, рассчитываемый по формуле

$$R = k_1 r_1 + k_2 r_2,$$

где R – рейтинг проекта; r_1 – оценка научной ценности идеи; r_2 – оценка реальности реализации идеи как проекта; k_1, k_2 – удельные веса для значимости идеи и степени уверенности в ее реализуемости соответственно.

Составляющая r_1 отражает вероятность того, что выполнение проекта может привести к новым принципиальным результатам, обеспечить существенное продвижение и оказать влияние на прогресс в данной или смежной научно-технической области.

Составляющая r_2 учитывает уровень руководителя разработки и потенциал возглавляемого им коллектива, наличие научно-технического задела, информационное, лабораторное и матери-

альное обеспечение потенциального проекта вкупе с корректностью распределения задач по этапам, результатам и срокам работы.

Составляющие рейтинга целесообразно оценивать в баллах на единой шкале. Построение шкалы и расчет удельных весов могут быть осуществлены в рамках процедуры, аналогичной процедуре квантификации SWOT-анализа [4].

Если на уровне идеи проект представляется реализуемым, переходят к оценке и минимизации затрат на ее превращение в материальный объект. Критерием выбора варианта технической реализации будет служить минимум затрат разработчика, приходящихся на период создания опытного образца. Расчет таких (приведенных) затрат для каждой из сравниваемых альтернатив проводится по формуле

$$P = I + E_n \cdot K \cdot t,$$

где P – приведенные затраты; I – текущие затраты при исполнении опытного образца;

$$E_n = \frac{1}{T_{исп}}$$

– нормативный коэффициент эффективности капиталовложений ($T_{исп}$ – срок полезного использования привлекаемого оборудования (в годах), в свою очередь, определяемый условиями его полной амортизации); K – единовременные затраты (капиталовложения) на производственное (исследовательское) оборудование; t – длительность этапа создания опытного образца, г.

Для крупных проектов, предлагаемых к реализации в интересах развития ПЭС в целом, следует учитывать фактор изменения стоимости денег во времени и возможность альтернативного использования бюджетных средств. Поэтому в сопоставительной оценке конкурирующих проектов необходимо, во-первых, применять методики приведения *единовременных затрат к окончанию планируемого срока создания опытного образца*, т. е. к $(T + 1)$ -му году, если создание предполагается в течение T лет. Во-вторых, поскольку в течение срока создания опытного образца финансовые ресурсы оказываются иммобилизованными, то следует оценивать временной лаг L задержки возврата капиталовложений.

Таким образом, для оценки эффективности вложений в создание опытного образца (финансирование некоммерческих социально значимых проектов развития) можно рекомендовать следующую последовательность расчетов:

1. Определить временной лаг L_i ($i = 1, \dots, n$) задержки возврата капиталовложений по каждому альтернативному проекту:

$$L_i = \sum_{t=1}^{T_i} \alpha_{it} (T_i - t + 1),$$

где α_{it} – доля капиталовложений в t -й год; T_i – срок создания опытного образца (реализация некоммерческого проекта развития).

2. Осуществить приведение объемов капиталовложений по проектам к плановому сроку создания образца:

$$K_i^p = \sum_{t=1}^{T_i} K_{it} (1+r)^{T_i-t},$$

где K_{it} – сумма капиталовложений в t -й год; r – ставка приведения, учитывающая номинальную доходность альтернативных вложений j_6 и темп инфляции j_n и вычисляемая по соотношению $r = (j_6 + 1)(j_n + 1) - 1$.

3. Определить максимальные значения параметров принятия решения L_{\max} и K_{\max} в целях отклонения абсолютно неприемлемых проектов.

4. Избрать приоритетный для финансирования проект создания опытного образца (реализация проекта развития) по критерию максимума скорости освоения капиталовложений:

$$v = \max \left(\frac{K_i^p}{L_i} \cdot i \right), i = 1, \dots, n.$$

Последующим этапом комплексной оценки эффективности инвестиционно-инновационной деятельности является анализ возможностей возврата инвестиций и доходности дальнейшей эксплуатации новшества. Поскольку чаще всего в качестве целей инвестиционной деятельности выдвигается максимизация рыночной стоимости и сумм выплачиваемых дивидендов, то традиционно основным критерием эффективности избирают чистую текущую стоимость (NPV) проекта.

Действительно, NPV можно рассматривать как цену, по которой инвестор мог бы продать инновационный проект, получив нормальную экономическую прибыль. При этом применение данного оценочного критерия предпочтительно в силу того, что он:

- отражает эффект инвестиций в инновации, т. е. приведенные к настоящему времени доходы за вычетом издержек;

- характеризует приток денежных средств, которые могут быть направлены на сбережения (капитализированы) и на потребление (выплачены в виде дивидендов).

Поскольку в основе расчета лежит метод дисконтированных денежных потоков (DCP), то для определения текущей стоимости проекта *необходимо обоснованные допущения и предположения относительно ожидаемых в будущем денежных потоков* и знание конечной даты его завершения. Уже этот аспект позволяет утверждать, что стандартный бухгалтерский расчет NPV не может решить проблему оценки коммерческой эффективности новшества. Препятствием к использованию показателя NPV и связанных с ним внутренней нормы доходности, индекса рентабельности и других динамических показателей является неопределенность условий и хода инновационного проекта.

Основным подходом к преодолению неопределенности в моделировании служит ее отождествление с риском и учет последнего в ставке дисконтирования денежных потоков.

Первый из таких методов устанавливает в качестве допустимой для проекта норму доходности, большую, чем определяемая выражением

$$R = R_f + (R_m - R_f)b,$$

где R – ставка дисконтирования; R_m – среднерыночная норма прибыли; R_f – доходность безрисковых активов; b – коэффициент (измеритель риска вложений).

Второй метод установления необходимой ставки дисконтирования исходит из вычисления текущей стоимости генерируемого компанией-разработчиком денежного потока, который может быть использован для финансирования инновационного проекта по формуле

$$WACC = \sum_{i=1}^n R_i \frac{V_i}{V},$$

где R_i – стоимость i -го источника капитала; V_i/V – доля i -го источника в общем привлеченном капитале.

В третьем варианте используют метод кумулятивного построения индивидуальной ставки дисконтирования по проекту:

$$R = p + q + \sum_{j=1}^n g_j,$$

где p – реальная безрисковая ставка ссудного процента; q – инфляционные ожидания; g_j – премия за отдельный риск по фактору с порядковым номером j . При этом величина премии определяется исходя из субъективных взглядов аналитика.

Для объективизации представлений о риске в проекте коммерциализации новшества автором предлагалась процедура оценки рисковой составляющей ставки дисконтирования эконометрическими методами [5] на основе панельных данных об индикаторах риска. В качестве таковых рекомендовалось учесть отраслевой риск, риск ненадежности участников проекта, территориальный риск и риск неполучения предусмотренных проектом доходов. Базой данных для определения количественных значений индикаторов риска служат ретроспективные данные ранее реализовавшихся инновационных проектов.

Вместе с тем в целях объективности следует отметить, что даже с использованием данной модификации модель дисконтированных денежных потоков не разрешает проблему комплексной оценки эффективности ни отдельного инновационного проекта, ни, тем более, инвестиционно-инновационной деятельности в ПЭС. Таким образом, неясность условий финансирования инновационной деятельности, уровень рисков каждого конкретного проекта и социальная направленность ПЭС требуют привлечения специальных методов прогноза финансовых потоков и оценки эффективности инвестиций.

Одновременно можно отметить, что множество вариантов реализации даже отдельного проекта, обусловливаемое множеством его рисков, создает ситуацию, подобную финансовым опционам.

Для оценки величины опционной премии можно использовать модель Блека–Шоулса [6].

В данной модели стоимость европейского опциона на покупку актива за период t до его истечения выражается следующим образом:

$$C = SF(z) - e^{-n} XF(z - \sigma\sqrt{t}), \quad (2)$$

где S – текущая цена базового актива; $F(z)$ – значение интегральной функции нормального распределения; X – цена исполнения опциона;

$$z = \frac{\ln \frac{S}{X} + \left(p + \frac{\sigma^2}{2} \right) t}{\sigma\sqrt{t}} \quad (3)$$

(p – безрисковая ставка доходности в виде номинальной ставки непрерывного начисления ссудного процента); σ – риск базового актива, определяемый в виде стандартного отклонения доходности актива.

Можно провести аналогию между портфелем ценных бумаг и инновационным проектом, понимая под ценой актива приведенную стоимость денежного потока, а под ценой исполнения – инвестиционные затраты. Тогда формула Блека–Шоулса будет отражать ожидаемое (вероятное) значение чистой текущей стоимости проекта за t единиц времени до ожидаемого срока завершения проекта (через $(T-t)$ единиц времени после осуществления инвестиций, если срок функционирования проекта задан). Это, казалось бы, решает проблему оценки коммерческой эффективности инновационного проекта. Однако практически данную схему реализовать крайне сложно.

Во-первых, абсолютно нереалистичными являются допущение о непрерывности формирования денежного потока и предположение о подчиненности волатильности приведенной стоимости закону нормального распределения. Во-вторых, выбор стандартного отклонения для доходности актива в известных примерах осуществляется с таким волюнтаризмом, что проведение дальнейших расчетов по формулам (2), (3) становится бессмысленным.

Поэтому автор рекомендует взамен первого слагаемого формулы Блека–Шоулса использовать оценку математического ожидания приведенной стоимости проекта ($PV_{ож}$), определяемую путем моделирования инновационного проекта на GERT-сети по методике, представленной ранее.

Заметим, что такое моделирование осуществить гораздо проще, чем полную симуляцию проекта методом Монте-Карло. Одновременно при этом обеспечивается возможность установить и индивидуальное, отвечающее конкретным условиям инновационного проекта, стандартное откло-

нение доходности инвестиций путем фиксации относительной величины изменения приведенной стоимости денежного потока за последний временной интервал моделирования перед завершением проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мардас А. Н., Кадиев И. Г., Гуляева О. А. О возможностях и методах прогнозирования инновационных процессов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. № 9. С. 122–130.

2. Ботвин Г. А., Мардас А. Н. Сетевые модели в инновационном менеджменте. СПб.: Изд-во Санкт-Петербург. ун-та, 2007.

3. Мардас А. Н., Мардас О. А. Организационный менеджмент. СПб.: Питер, 2003. 336 с.

4. Мардас А. Н. Эконометрический анализ инновационных процессов. СПб.: ЭЛМОР, 2007. 222 с.

6. Мардас А. Н., Кадиев И. Г., Гуляева О. А. Методы стратегического анализа в управлении инвестиционно-инновационной деятельностью в региональных хозяйственных комплексах. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011.

6. Валдайцев С. В. Оценка бизнеса и управление стоимостью предприятия. М.: Юнити-Дана, 2001. 720 с.

A. N. Mardas

Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

THE METHODS OF MATHEMATICAL SIMULATION IN A MANUFACTURING SYSTEMS CONTROL

The article is devoted to the methods of simulation in the strategic planning procedures. The algorithms of efficiency estimates are given. Recommendations to the corporation's management are provided.

Simulation, manufacturing systems, control, strategic planning, innovation

УДК 338.24(075)

В. В. Азарьева

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Самооценка организации как инструмент совершенствования ее системы менеджмента качества

Обоснована актуальность проведения самооценки деятельности организации в области менеджмента качества. Приведены результаты сравнительного анализа критериев отечественных и зарубежных моделей, на основе которых может проводиться самооценка организации. Также приведены результаты сравнительного анализа методов самооценки. Даны рекомендации по выбору модели и метода самооценки с целью совершенствования системы менеджмента качества организации.

Самооценка, система менеджмента качества, модель самооценки, метод самооценки

Перспективной организацией считается та, которая адаптируется к любым изменениям в условиях ведения бизнеса и, таким образом, обеспечивает себе устойчивое развитие [1]. Устойчивое развитие возможно только тогда, когда организация обнаруживает изменения в своем деловом окружении, осознает уровень своих знаний, повышает свою конкурентоспособность и рацио-

нализирует свою организационную структуру по мере необходимости. Организации нужно выявить факторы, способствующие повышению конкурентоспособности и достижению делового успеха, определив профиль своих возможностей. Определение профиля возможностей организации позволяет ей получить систему четких критериев для осуществления самооценки [2]. Самооценка