

УДК 621.7:658.51

ПРИНЦИПЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

С.И. Петрушин, Р.Х. Губайдулина

Юргинский технологический институт (филиал) ТПУ

E-mail: victory_28@mail.ru

Приведен анализ основных этапов жизненного цикла изделий машиностроения. Поставлены три задачи оптимизации для проектирования, изготовления и эксплуатации машины. Сформулированы принципы рациональной эксплуатации и конструирования изделий. Предложены методики определения оптимальной программы выпуска и расчета максимально возможной прибыли машиностроительного предприятия. Сделан вывод о необходимости организации производства по новому типу – массово-быстрому.

Ключевые слова:

Изделие машиностроения, PLM-система, оптимизация, проектирование, изготовление, эксплуатация, прибыль.

Key words:

Engineering product, PLM system, optimization, design process, manufacture, exploitation, profit.

В последние годы появился такой комплексный показатель периода существования изделий, как «жизненный цикл изделия» (ЖЦИ), под которым понимается полный период его жизни, включающий этапы проектирования, производства, эксплуатации и утилизации. Введение этого понятия обычно связывают с разработкой информационных CALS-технологий, обслуживающих в основном этапы проектирования и изготовления изделий (CAD/CAM/CAE/PDM-системы). Сейчас приходят к необходимости создания глобальной автоматизированной информационной системы, охватывающей весь ЖЦИ, которая обозначается аббревиатурой PLM (Products Lifecycle Management). Следует отметить, что информатизация существующих этапов производственного процесса без учёта степени их прогрессивности и оптимальности может привести к замораживанию неэффективных бизнес-процессов и тем самым свести на нет эту актуальную для промышленности работу. Поэтому разработка оптимальных решений в «реальном секторе» экономики позволит углубить взаимодействие информационных и производственных технологий, подняв его на более высокий уровень интеграции. Таким образом, прежде чем разрабатывать комплексную PLM-систему, необходимо подвергнуть системному анализу весь процесс управления жизненным циклом изделия.

В концепции ЖЦИ полагается, что изделие вначале возникает у проектировщика (автора) в виде общей идеи конструкции. Затем эта идея воплощается в комплект необходимой конструкторской документации. В процессе конструирования решается первая задача оптимального проектирования со своими критериями и целями оптимизации, в основу которой должны быть положены требования как производства, так и эксплуатации изделия. На следующем этапе ЖЦИ в процесс создания изделия вовлекается большое количество специалистов и материальных средств, в результате чего осуществляется стадия производства машины с определенной серийностью выпуска. При этом видится решение второй задачи оптимизации, ко-

торая направлена на снижение издержек производства, а также на своевременный переход к выпуску принципиально нового изделия. После реализации изделия на рынке наступает этап его эксплуатации у потребителя, интересы которого требуют рассмотрения третьей задачи оптимизации, а именно — минимизации эксплуатационных расходов и установления оптимального срока эксплуатации, по завершению которого изделие подлежит замене на новое, и происходит его утилизация.

Поставленные выше три задачи оптимизации ЖЦИ тесно взаимосвязаны между собой и неравнозначны. В большинстве случаев товарно-рыночных взаимодействий между производителем изделия и его потребителем существует так называемый «диктат потребителя», когда последний определяет целесообразность приобретения того или иного изделия, исходя из понимания своих потребностей и финансовых возможностей. В то же время возможен и «диктат производителя», особенно в монополярной экономике, где у потребителя отсутствует выбор при покупке изделия. Так как в крупных экономиках мира существует антимонопольное законодательство, то этот вариант встречается сравнительно редко и не характерен для развитых товарно-денежных отношений. Следовательно, третья задача оптимизации (оптимизация периода эксплуатации) является главной и определяющей в создании оптимальной экономики производства изделий, а первые две носят подчиненный характер.

На основе анализа известной формулы для расчета приведенных «народнохозяйственных» затрат авторами в [1] предложена следующая формула для расчёта текущих приведенных затрат на эксплуатацию изделия в условных единицах стоимости (у.е.с.):

$$З = C_{\pi} \tau + \frac{Ц}{\tau + 1}, \quad (1)$$

где C_{π} — удельные текущие затраты на эксплуатацию, имеющие размерность у.е.с./у.е.в.² (у.е.в. — условные единицы времени); $Ц$ — цена приобретения изделия.

Расчеты по зависимости (1) показали, что приведенные затраты на эксплуатацию имеют минимум в определённый момент времени, который обозначен через T_3 и назван «экономически обоснованным сроком службы» (ЭОСС) [1]. Эксплуатировать изделие далее нерентабельно, поэтому его следует заменить на новое или более совершенное. Значение ЭОСС можно получить из выражения (1), взяв от него производную по времени эксплуатации и приравняв ее к нулю

$$T_3 = \sqrt{C/C_{\Pi}}, \text{ у.е.в.}$$

Отсюда сформулирован принцип оптимальной эксплуатации любого изделия машиностроения: для минимизации издержек потребителя изделие конкретной конструкции и качества должно эксплуатироваться в течение экономически обоснованного срока его службы, значение которого обусловлено величинами первоначальных затрат на приобретение изделия и текущих затрат на его эксплуатацию.

С другой стороны, если задан оптимальный срок службы изделия, и установлены удельные эксплуатационные расходы, то для минимизации суммарных затрат производителя и потребителя цена изделия должна иметь также вполне определенную величину, превышение или уменьшение которой приводит к проигрышу (или диктату) либо потребителя, либо производителя изделия [1]. Эта цена является оптимальной (справедливой) как для стадии изготовления, так и эксплуатации изделия, и должна служить директивой для изготовителя вместе с продавцом. Поэтому в отличие от «стихий рынка», устанавливающей цену продукции на основе конкурентной борьбы, ценообразование в соответствии с ЭОСС позволяет внести существенный элемент плановости в деятельность машиностроительной фирмы как в случае освоения выпуска нового варианта изделия, так и в решении других производственных задач.

Существование ЭОСС накладывает жесткие ограничения на процесс проектирования и на саму конструкцию изделия. В работе [2] сформулирован следующий общий принцип оптимальности той или иной конструкции машины: изделие должно иметь одинаковый гарантированный запас долговечности для всех своих элементов, включая агрегаты, узлы, детали и сопряжения, величина которого должна быть экономически обоснована на предпроектной стадии. После исчерпания заданного срока службы конструкция должна быть подвергнута единовременному отказу всех её составных частей. Проблема заключается в обеспечении равного запаса надежности или, что то же самое, экономически обоснованного срока службы машины.

Главная задача оптимального проектирования машин состоит не в описании и в обчете готовых конструкций (хотя на первом этапе такая задача может иметь место), а в целенаправленном создании таких изделий, конфигурация, форма, матери-

ал и другие конструктивные особенности которых являются объектом активного поиска и могут быть изменены в соответствии со служебным назначением и условиями эксплуатации предмета производства, а также с экономическими требованиями. Это направление в проектировании деталей и конструкций машин предполагает отличающуюся от традиционного пути методологию конструирования и заключается в следующем [2]:

1. Формулировка глобальной цели проектирования изделия в виде экономически обоснованного срока его службы, устанавливаемого по результатам изучения текущей конъюнктуры рынка аналогов с учетом назначения материальной базы фирмы-производителя.
2. Всесторонний учет воздействующих эксплуатационных факторов, включая допускаемый диапазон колебаний силовых, тепловых и других нагрузок.
3. Выявление физической природы процессов, приводящих к отказу изделия, и поиск соответствующих математических моделей, описывающих текущее состояние машины с точки зрения прочности (статической, динамической и усталостной), жесткости, коррозионной стойкости, тепло- и трибо-стойкости. Этот этап должен учитывать статистику отказов, получаемую в результате обследования (дефектации) изношенных изделий на этапе их утилизации.
4. Этап непосредственного проектирования первого варианта изделия и конструирования его составных частей как традиционными методами, так и с применением методов оптимизации по частным целевым функциям.
5. Сравнение эксплуатационных характеристик составных частей и деталей изделия с ЭОСС и поэтапное выравнивание сроков службы за счет изменения их формы, размеров, свойств конструкционного материала и рабочих поверхностей конструкторскими или технологическими методами. При этом возможно как повышение, так и снижение запаса долговечности ряда деталей.

Результатом такого итерационного процесса проектирования должно стать получение изделия наивысшего качества в пределах заданных временных и финансовых ограничений. Следует отметить, что широкое распространение изложенной методологии проектирования требует не только проведения широкомасштабных технико-экономических, теоретических и экспериментальных исследований, но и коренного изменения инженерной психологии конструкторов и проектировщиков изделий машиностроения. Центральным вопросом является назначение частных критериев оптимальности того или иного варианта конструкции.

В работе [2] подробно рассмотрены два критерия: равнопрочности конструкции и равномерного изнашивания. Под равнопрочностью изделия понимаются такие условия его нагружения сосредото-

точными силами или контактными напряжениями, при которых внутри него или на его поверхности в каждой материальной точке получается одинаковое напряженное состояние. Под условием равномерного изнашивания изделия понимается такая его форма и физико-механические свойства поверхностного слоя трущихся участков, при которых во всех точках приращение износа во времени имеет одну и ту же величину.

Для изделий со сложной конфигурацией могут отсутствовать теоретические модели для расчета напряжённо-деформированного состояния, температуры, жесткости, коррозии, износа и других характеристик. Поэтому целесообразно применять численные методы конечных и граничных элементов, реализованные в виде пакетов прикладных программ в САПР, которые должны быть дополнены итерационными циклами выравнивания эксплуатационных свойств во всех частях и зонах изделия в соответствии с предложенными принципами оптимального проектирования конструкций.

Процесс изготовления машины представляет собой наиболее важную стадию ЖЦИ, в результате выполнения которой изделие начинает свою физическую жизнь. Рассмотрены две технико-экономические проблемы, преодоление которых позволит рационально организовать выполнение этого этапа, а именно: расчет оптимальной программы выпуска изделий и задачу своевременного и безболезненного перехода на выпуск принципиально новой машины.

В работе [3] проведен подробный анализ производственной программы машиностроительного предприятия на основе графиков рентабельности. Общие затраты на выпуск изделий определённого типа Z_{II} складываются из первоначальных капитальных вложений K_{II} , необходимых для организации производства новых машин, и текущих затрат (себестоимости) на изготовление изделий согласно формулы:

$$Z_{II} = K_{II} + C_{II} N, \text{ у.е.с.}, \quad (2)$$

где C_{II} — себестоимость одного изделия, у.е.с.; N — текущая производственная программа выпуска, шт.

С другой стороны, общий доход предприятия D от реализации производимых изделий прямо пропорционален программе их выпуска:

$$D = C_{II} N, \quad (3)$$

где C_{II} — продажная цена изделия, у.е.с.

При определённом количестве выпускаемых и реализуемых изделий величины общих затрат и общего дохода сравниваются. Из (2) и (3) эта величина равна:

$$N_1 = \frac{K_{II}}{C_{II} - C_{II}}. \quad (4)$$

До значения N_1 предприятие несёт убытки в связи с необходимостью компенсировать сделанные к этому моменту общие затраты, а при $N > N_1$ оно начинает получать текущую прибыль.

Следует отметить, что получить полную компенсацию абсолютных общих затрат абсолютным общим доходом данное предприятие может только тогда, когда оно произведёт и реализует большее, чем N_1 количество изделий, которое обозначим через N_{\min} . В случае прямолинейных зависимостей Z_{II} и D от программы выпуска имеем следующее соотношение $N_{\min} = 2N_1$ или с учетом (4):

$$N_{\min} = \frac{2K_{II}}{C_{II} - C_{II}}.$$

Так как, начиная с величины N_{\min} , рассматриваемое предприятие начнёт получать абсолютную прибыль, то это значение является нижней границей для определения его производственной программы. При $N \geq N_{\min}$ предприятие будет увеличивать абсолютную прибыль, максимизация величины которой в условиях капиталистического способа производства является главной целью. При этом возникает принципиально важная задача определения максимальной программы выпуска N_{\max} , после выполнения которой данное изделие снимается с производства. Если обозначить через T_M период морального износа изделия в у.е.в., под которым понимается календарный период времени ЖЦИ от момента выпуска первого экземпляра машины до момента прекращения её изготовления, то максимальную производственную программу можно выразить отношением:

$$N_{\max} = \frac{T_M}{t_d}, \quad (5)$$

где t_d — интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий (такт выпуска), у.е.в.

Линия N_{\max} ограничивает область абсолютной прибыли сверху, а снизу, как это следует из рассмотренного выше, она имеет нулевой предел по линии N_{\min} . Если эти величины известны, то для прямолинейных зависимостей (2) и (3) размер получаемой прибыли Π определится выражением

$$\Pi = N_{\max} [0,5 N_{\max} (C_{II} - C_{II}) - K_{II}]. \quad (6)$$

В работе [3] приведены формулы для расчёта прибыли в случае нелинейных зависимостей (2) и (3), вызванных различными стратегиями продаж выпускаемого изделия. Анализ выражения (6) показывает, что прибыль предприятия будет возрастать с увеличением N_{\max} и разницы между ценой изделия и его себестоимостью, а также с уменьшением первоначальных капитальных вложений на организацию производства данных изделий. При этом величина N_{\max} является наиболее эффективным средством повышения абсолютной прибыли, так как она стоит в формуле (6) во второй степени.

Подставим отношение (5) в формулу (6):

$$\Pi = \frac{T_M}{t_d} \left[0,5 \frac{T_M}{t_d} (C_{II} - C_{II}) - K_{II} \right]. \quad (7)$$

Из выражения (7) следует, что при определённом значении периода морального износа машины прибыль машиностроительной фирмы будет обратно пропорциональна такту выпуска изделий. Расчёты по (7) свидетельствуют о высоком градиенте увеличения прибыли при приближении такта выпуска к минимальным значениям. Для более перспективных изделий, имеющих повышенный период морального износа, одну и ту же величину общей прибыли можно получить при большем значении такта выпуска. Наоборот, аналогичную прибыльность изделий с малой величиной T_m можно обеспечить лишь за счёт более жёсткой организации производства, обусловленной снижением величины t_d . Таким образом, для достижения максимально возможной прибыли в пределах рассмотренных выше ограничений основным направлением должен быть путь всемерного сокращения такта выпуска изделий, то есть переход к массовому производству. Исходя из цели достижения максимальной прибыли, соответствующее этому такту значение N_{\max} и будет являться оптимальной производственной программой выпуска изделий.

Из предыдущего следует, что момент перевода производства на выпуск нового изделия должен совпадать с периодом морального износа выпускаемой машины. Определение величины T_m является важной задачей маркетинговых исследований рынка, и она должна быть известна до начала производства того или иного изделия, так как по ней рассчитываются оптимальная программа выпуска, и объём ожидаемой прибыли согласно выражениям (5) и (7).

В работе [4] представлен анализ основных способов перехода на новые модели машины: с полной остановкой производства на период реконструкции; параллельный метод перехода; «безостановочный» метод; реинжиниринг в условиях гибкого производства. В результате сделан вывод о необходимости организации производства по новому типу – массовому быстросменному производству, построенному по принципу: оптимальный срок службы материальной производственной базы, включая оборудование, оснастку и другие средства технологического оснащения, должен быть равен периоду морального износа выпускаемого изделия. Этому принципу соответствует формула для расчёта максимальной прибыли следующего вида [4]:

$$\Pi_{\max} = \frac{(C_{II} - C_I)^3}{54C_{\text{пр}}^2 t_d^4}, \text{ у.е.с.}, \quad (8)$$

где $C_{\text{пр}}$ – коэффициент текущих затрат на обслуживание функционирования производства изделия, у.е.с./у.е.в.².

Здесь по сравнению с выражением (7) Π_{\max} также обратно пропорциональна такту выпуска, но уже не во второй, а в четвёртой степени. Из (8) следует, что для получения максимальной прибыли необходимо, кроме отмеченного выше, сокращать текущие издержки производства $C_{\text{пр}}$ и уменьшать такт выпуска изделий. Причём последний путь является наиболее эффективным средством.

Для организации предложенного способа перехода на изготовления новой машины производственная база машиностроительного предприятия должна быть разделена на две равноценные части, из которых в данный момент времени функционирует одна, которая выпускает традиционные изделия. В это же время во второй части происходит создание и оснащение производства для выпуска нового изделия с заранее определённым тактом выпуска. В момент достижения первой машиной морального износа происходит быстрый переход на выпуск новой машины, а прежнее производство подлежит полному демонтажу с последующей организацией производства более перспективного изделия. То есть на предприятии должны существовать две параллельные производственные базы. Этот вариант, на наш взгляд, позволит успешно разрешить проблему организации массового быстросменного производства.

Выводы

1. Основой оптимизации жизненного цикла машины должно служить положение о существовании экономически обоснованного срока службы изделия, которому соответствует минимум суммарных затрат производителя и потребителя.
2. Проектирование изделия должно быть направлено, в первую очередь, на обеспечение его экономически обоснованного срока службы путем достижения равного запаса долговечности для всех ее составных частей. Оптимальной является конструкция, спроектированная на принципах равнопрочности, равномерного изнашивания и других частных целевых функциях, обеспечивающих равномерное распределение эксплуатационных свойств.
3. Эффективность этапа изготовления машины напрямую зависит от точности назначения производственной программы выпуска и рациональной организации перехода на изготовление нового изделия. Для получения максимальной величины прибыли необходимо снижать такт выпуска изделий, а производственная база предприятия должна функционировать по принципу массового быстросменного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрушин С.И., Губайдулина Р.Х. Оптимизация этапа эксплуатации изделий машиностроения // Вестник машиностроения. – 2010. – № 7. – С. 52–59.
2. Петрушин С.И. Техноэкономика. Оптимизация жизненного цикла изделий машиностроения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 139 с.
3. Петрушин С.И., Губайдулина Р.Х. Определение оптимальной программы выпуска изделий машиностроения // Вестник машиностроения. – 2011. – № 2. – С. 80–85.
4. Петрушин С.И., Губайдулина Р.Х. Оптимизация перехода на производство новой продукции машиностроения // Вестник машиностроения. – 2011. – № 12. – С. 80–83.

Поступила 24.01.2012 г.

УДК 332.146:316.422(571.16)

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ И СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПРИОРИТЕТЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

В.В. Спицын, С.В. Черноног

Томский политехнический университет
E-mail: spitsin_vv@mail.ru, teney2007@sibmail.com

Показана необходимость оценки конкурентоспособности региона с двух позиций: как способности региона привлекать ресурсы внешней среды и как производителя товаров и услуг, реализуемых на внешних рынках. Для корректной оценки конкурентоспособности эти подходы должны дополнять друг друга. Разработан методический подход к оценке конкурентоспособности региона, как производителя товаров и услуг, и проведена его апробация на примере Томской области. Уточнена оценка конкурентоспособности Томской области, сформулированы возможности, проблемы и механизмы реализации приоритетов развития. Показано, что важнейшим критерием выбора приоритетов должна стать ориентация производимой продукции на внешние рынки.

Ключевые слова:

Конкурентоспособность региона, методика оценки, инновационное развитие, Томская область, статистика, внешний рынок.

Key words:

Region competitiveness, estimation methods, innovation growth, Tomsk region, statistics, external market.

Оценка конкурентоспособности региона и выявление его конкурентных преимуществ – это первый этап определения приоритетов развития. Правильный выбор приоритетов крайне важен в условиях ограниченных финансовых и иных ресурсов, которые могут быть направлены регионом на их реализацию.

Целью настоящей работы является совершенствование методических и практических аспектов оценки конкурентоспособности региона и разработка на их основе рекомендаций по определению и реализации приоритетов инновационного развития. Апробация методических разработок проводится на примере Томской области. Информационной базой исследования послужили теоретические работы по проблемам оценки конкурентоспособности региона, материалы по актуализации Стратегии развития Томской области до 2020 г., данные федеральной и региональной статистики, данные вузовской статистики.

Традиционный подход к оценке конкурентоспособности региона и его использование в Стратегии развития Томской области

В рамках традиционного теоретического подхода конкурентоспособность региона рассматривается как его способность привлекать внешние ресур-

сы (финансовые, трудовые и т. д.) для своего развития. Для решения задачи привлечения внешних ресурсов региону требуется обеспечить высокий уровень жизни населения и высокую доходность капитала, а также сформировать условия (предпринимательскую среду и т. д.) для эффективного использования имеющихся собственных ресурсов при производстве товаров и услуг [1, 2]. В рамках этого подхода для оценки конкурентоспособности региона предлагается использовать две группы признаков (индикаторов):

- базовые признаки: природно-сырьевые ресурсы, трудовые ресурсы и их квалификация, научный, управленческий потенциал, производственная база;
- обеспечивающие признаки: предпринимательский климат, качество управленческого потенциала, стоимость рабочей силы, инфраструктура [3].

Выделяют и другие группы показателей: уровень жизни населения, инвестиционная привлекательность, эффективность использования ресурсов [4].

Логика традиционного подхода: *собственные ресурсы и конкурентные преимущества – создание благоприятной среды – приток ресурсов извне – рост производства – развитие региона.*