



## МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА РАЗРАБОТКИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОДУКЦИИ<sup>1</sup>

**А.М. БАТЬКОВСКИЙ<sup>1</sup>**  
**М.А. БАТЬКОВСКИЙ<sup>2</sup>**  
**Г.А. РОЙКО<sup>3</sup>**  
**С.М. ЧУДИНОВ<sup>3</sup>**

<sup>1)</sup> ОАО «ЦНИИ «Электроника»  
<sup>2)</sup> ФГУП «Мытищинский научно-исследовательский институт радиоизмерительных приборов»  
<sup>3)</sup> ОАО «НИИ Супер ЭВМ»  
e-mail: batkovskiy\_a@instel.ru  
batkovsky@yandex.ru  
superibm-roiko@yandex.ru  
chud35@yandex.ru

В статье рассмотрены методологические основы и экономико-математические методы оптимизации жизненного цикла разработки радиоэлектронной продукции. Предложена новая, более эффективная организация процесса разработки радиоэлектронных изделий, а также инструментарий оценки технико-экономической эффективности новых технологий, внедряемых на предприятиях-изготовителях данной продукции.

Ключевые слова: технологические риски, предприятие, радиоэлектронная продукция, метод, инструментарий, эффективность, разработка, жизненный цикл, изделие.

Производство радиоэлектронной продукции ввиду ее высокой наукоемкости и быстрого морального старения требует оптимизации жизненного цикла ее создания путем перехода к новой, более эффективной организации процесса разработки новой инновационной продукции [1]. В настоящее время в традиционной структуре жизненного цикла изделия (ЖЦИ) технологическая подготовка производства (ТПП) следует за опытно-конструкторскими работами (ОКР). Однако в радиоэлектронной промышленности при производстве наукоемкой продукции целесообразно, с нашей точки зрения, начинать ТПП еще на этапе опытно-конструкторских работ (ОКР), т.е. указанные два этапа ЖЦИ проводить по возможности параллельно. Данная организация инновационных разработок в радиоэлектронной промышленности обеспечивает следующие преимущества:

– уменьшается общая продолжительность предпроизводственных стадий ЖЦИ, т.к. часть ТПП может быть проведена еще до передачи конструкторской документации заводу-изготовителю;

– возрастает согласованность конструкторских решений и технологических возможностей предприятия-изготовителя. Благодаря этому снижается риск принятия на стадии ОКР технологически нереализуемых или неэффективных конструктивных решений и, соответственно, риск неэффективного расходования средств, выделяемых на разработку инновационной продукции.

Возможности интеграции ОКР и ТПП появились благодаря внедрению CALS-технологий и систем автоматизированного проектирования, которые позволяют в реальном масштабе времени получать информацию обо всех изменениях конструкции разрабатываемого изделия. Для оптимизации жизненного цикла создания радиоэлектронной продукции можно использовать методологические подходы, предложенные в [2-6].

Разделим рассматриваемые этапы жизненного цикла изделия так, чтобы по завершению каждого этапа ОКР появлялась возможность выполнить определенный этап ТПП. Выполнение технологической подготовки производства поэтапно в привязке к этапам опытно-конструкторских работ позволяет оперативно выявлять ошибки, допускаемые с некоторой вероятностью в ходе проведения ОКР, которые приводят к снижению технологичности изготовления изделия или даже невозможности его производства при применении имеющихся у предприятия-производителя технологий. Благодаря интеграции ОКР и ТПП указанные ошибки исправляются значительно раньше, что уменьшает потери времени и средств, т.к. при новой организации производства они

<sup>1</sup> Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-18-00519).



выявляются на ранних стадиях ЖЦИ, пока еще не привели к дорогостоящим необратимым потерям.

Оценив вероятности появления и обнаружения ошибок на выполняемых параллельно этапах ОКР и ТПП можно определить ожидаемый объем переделок конструкции нового наукоемкого радиоэлектронного изделия и соответствующие им потери, которые необходимо сопоставить с затратами времени и средств, получаемыми при последовательном выполнении данных этапов ЖЦИ. В качестве критерия оценки эффективности интеграции ОКР и ТПП можно принять показатель относительного сокращения ожидаемых потерь времени и средств на переделку ошибок. Интегральная оценка данной эффективности должна учитывать сроки создания наукоемкой продукции, т.к. время появления нового изделия на рынке влияет на его конкурентоспособность.

Для решения рассматриваемой задачи необходимо оценить ожидаемые объемы работ на этапах ОКР и ТПП с учетом возможных переделок изделия, связанных с исправлением допускаемых ошибок. Пусть  $m$  – число этапов ОКР, обозначаемых индексами  $i = 1, \dots, m$ , и соответствующих им этапов ТПП, обозначаемых индексами  $j = 1, \dots, m$ . По окончании  $i$ -го этапа ОКР можно выполнять  $i$ -ый этап ТПП. С целью упрощения модели будем считать, что все этапы ОКР имеют одинаковую длительность  $d^O$  и стоимость  $s^O$ , а все этапы ТПП – соответственно,  $d^T$  и  $s^T$ . Тогда планируемые значения длительности и стоимости ОКР ( $D_{pl}^O, S_{pl}^O$ ) и ТПП ( $D_{pl}^T, S_{pl}^T$ ) без учета ошибок и переделок можно определить следующим образом:

$$D_{pl}^O = m \times d^O; S_{pl}^O = m \times s^O; \quad (1)$$

$$D_{pl}^T = m \times d^T; S_{pl}^T = m \times s^T \quad (2)$$

Предположим, что в ходе проведения ОКР может быть допущена ошибка с вероятностью  $H$ . Если процесс ОКР состоит из  $m$  одинаковых последовательных этапов, то тогда на каждом его  $i$ -ом этапе вероятность ошибки равна  $h = \frac{H}{m}$ . Предположим с заданной вероятностью  $b$ , что указанная ошибка будет обнаружена на соответствующем  $i$ -ом этапе ТПП. Если с вероятностью  $(1-b)$  она не будет обнаружена на  $i$ -ом этапе, то тогда с вероятностью  $[b \times (1-b)]$  она будет обнаружена на  $(i+1)$  этапе ТПП, с вероятностью  $[b \times (1-b)^2]$  – на  $(i+2)$  этапе ТПП и т.д. Предположим, что, данная ошибка гарантированно будет выявлена на каком-то этапе ТПП, вплоть до его заключительного этапа  $m$ . Тогда вероятность того, что ошибка будет допущена на  $i$ -ом этапе ОКР и выявлена на  $j$ -ом этапе ТПП, равна:

$$H_{i,j} = \begin{cases} h \times b \times (1-b)^{j-i} = \frac{H}{m} \times b \times (1-b)^{j-i}, & j = i, \dots, m-1 \\ h \times (1-b)^{m-i} = \frac{H}{m} \times (1-b)^{m-i}, & j = m \end{cases} \quad (3)$$

Модель (1)-(3) оценки вероятности совершения ошибок на этапах ОКР и их обнаружения на этапах ТПП позволяет определить технологические риски инновационного развития высокотехнологичных предприятий в процессе разработки инновационной продукции.

При обнаружении ошибки, допущенной на каком-то этапе опытно-конструкторских работ, все этапы, выполненные после него, подлежат переделке. Объем данных переделок составляет долю, равную величине  $\kappa \in [0, 1]$ . Аналогично, для соответствующих этапов технологической подготовки производства указанная доля равна  $\mu \in [0, 1]$ . Одна принципиальная ошибка, допущенная при выполнении какого-то этапа ОКР, может обесценить все последующие этапы опытно-конструкторских работ, даже если они выполнены без ошибок, т.е.  $\kappa \approx 1$ . Если ошибка незначительная, то  $\kappa \ll 1$ . Поскольку конструирование нового изделия и разработка технологии его производства являются трудоемкими процессами, то стоимостные и временные потери от рассматриваемых ошибок тесно связаны между собой. Поэтому принятое в



рассматриваемой модели приравнивание долей временных и стоимостных потерь, связанных с переделкой конструкции изделия ввиду допущенной ошибки, вполне оправдано.

Если ошибка, допущенная на  $i$ -ом этапе ОКР, выявлена на  $j$ -ом этапе ТПП,  $j \geq i$ , то переделке подлежит следующее количество этапов ОКР ( $\Delta m^O$ ) и соответствующих им этапов ТПП ( $\Delta m^T$ ):

$$\Delta m_{i,j}^O = \Delta m_{i,j}^T = j - i + 1, \quad j = i, \dots, m \quad (4)$$

Длительность и стоимость переделок для ОКР ( $\Delta d^O, \Delta s^O$ ) и ТПП ( $\Delta d^T, \Delta s^T$ ) можно определить следующим образом:

$$\begin{cases} \Delta d_{i,j}^O = \kappa \times d^O \times \Delta m_{i,j}^O = \kappa \times d^O \times (j - i + 1), \\ \Delta s_{i,j}^O = \kappa \times s^O \times \Delta m_{i,j}^O = \kappa \times s^O \times (j - i + 1), \\ \Delta d_{i,j}^T = \mu \times d^T \times \Delta m_{i,j}^T = \mu \times d^T \times (j - i + 1), \\ \Delta s_{i,j}^T = \mu \times c^T \times \Delta m_{i,j}^T = \mu \times s^T \times (j - i + 1), \\ \text{при } j = i, \dots, m \end{cases} \quad (5)$$

Тогда ожидаемую длительность и стоимость переделок ОКР ( $\Delta D^O, \Delta S^O$ ) и ТПП ( $\Delta D^T, \Delta S^T$ ) с учетом (1)-(3) можно выразить следующим образом:

$$\Delta D^O = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \Delta d_{i,j}^O \times H_{i,j} = \kappa \times d^O \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \Delta m_{i,j}^O \times H_{i,j} = \kappa \times d^O \times \Delta M^O; \quad (6)$$

$$\Delta S^O = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \Delta s_{i,j}^O \times H_{i,j} = \kappa \times s^O \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \Delta m_{i,j}^O \times H_{i,j} = \kappa \times s^O \times \Delta M^O; \quad (7)$$

$$\Delta D^T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \Delta d_{i,j}^T \times H_{i,j} = \mu \times d^T \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \Delta m_{i,j}^T \times H_{i,j} = \mu \times d^T \times \Delta M^T; \quad (8)$$

$$\Delta S^T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \Delta s_{i,j}^T \times H_{i,j} = \mu \times s^T \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \Delta m_{i,j}^T \times H_{i,j} = \mu \times s^T \times \Delta M^T, \quad (9)$$

где  $\Delta M^O, \Delta M^T$  – ожидаемое количество этапов ОКР и ТПП, подлежащих переделке.

Отсюда:

$$\Delta M^O = \Delta M^T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (j - i + 1) \times H_{i,j} \quad (10)$$

Суммируя выражения (6), (7), (8) и (9) можно найти увеличения длительности ( $\delta D$ ) и стоимости ( $\delta S$ ) ОКР и ТПП, вызванные ошибками, допущенными при проектировании изделия и последующими его переделками:

$$\delta D = \Delta D^O + \Delta D^T = \kappa \times d^O \times \Delta M^O + \mu \times d^T \times \Delta M^T; \quad (11)$$

$$\delta S = \Delta S^O + \Delta S^T + K_{add}^{O+T} = \kappa \times s^O \times \Delta M^O + \mu \times s^T \times \Delta M^T + K_{add}^{O+T}, \quad (12)$$

где  $K_{add}^{O+T}$  – дополнительные расходы на ОКР и ТПП, необходимые для их интеграции и параллельного выполнения.

Включение в предлагаемую модель показателя  $K_{add}^{O+T}$  вызвано тем, что интеграция ОКР и ТПП возможна лишь на базе современных информационных технологий и поэтому требует приобретения дорогостоящих программно-аппаратных средств, а также проведения организационных изменений на предприятиях-изготовителях наукоемкой продукции. Показатель  $K_{add}^{O+T}$  позволяет учесть дополнительные затраты, вызванные переходом к



новой организации процесса разработки инновационных изделий, что повышает обоснованность предлагаемого инструментария.

В соответствии с действующей в настоящее время организацией инновационных разработок в высокотехнологичных отраслях промышленности, к которым относится радиоэлектронная промышленность, этапы ТПП начинаются только по завершении ОКР. Поэтому, на каком бы этапе ОКР ни была допущена технологическая ошибка, она не будет обнаружена до начала этапов технологической подготовки производства, т.е. до окончания конструкторской разработки изделия. При этом если ошибка допущена на  $i$ -ом этапе ОКР, переделке в любом случае подлежит  $(m-i+1)$  этапов ОКР. Тогда ожидаемое количество этапов ОКР  $\Delta M_{end}^O$ , подлежащих переделке, можно определить следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta M_{end}^O &= h \times \sum_{i=1}^m (m-i+1) = h \times \left[ m \times (m+1) \frac{m \times (m+1)}{2} \right] \\ &= h \times \frac{m \times (m+1)}{2} = \frac{H}{m} \times \frac{m \times (m+1)}{2} = H \times \frac{m+1}{2} \end{aligned} \quad (13)$$

Ожидаемую продолжительность  $\Delta D_{end}^O$  и стоимость переделок ошибок  $\Delta S_{end}^O$ , допущенных при проведении опытно-конструкторских работ при традиционном последовательном выполнении ОКР и ТПП можно определить следующим образом:

$$\Delta D_{end}^O = \kappa \times d^O \times \Delta M_{end}^O = \kappa \times d^O \times H \times \frac{m+1}{2}; \quad (14)$$

$$\Delta S_{end}^O = \kappa \times s^O \times \Delta M_{end}^O = \kappa \times s^O \times H \times \frac{m+1}{2}. \quad (15)$$

Что касается количества этапов ТПП, подлежащих переделке, а также ожидаемой продолжительности и стоимости этих переделок, они определяются так же, как и при параллельном выполнении ОКР и ТПП, поскольку при их последовательном выполнении также придется переделывать лишь те этапы технологической подготовки производства, которые следуют за допущенной ошибкой. Следовательно, ожидаемый прирост стоимости  $\delta S_{end}$  и продолжительности  $\delta D_{end}$  ОКР и ТПП относительно их планового уровня при традиционной последовательной организации этих процессов выражается следующими формулами:

$$\delta D_{end} = \Delta D_{end}^O + \Delta D^T = \kappa \times d^O \times \Delta M_{end}^O + \mu \times d^T \times \Delta M^T; \quad (16)$$

$$\delta S_{end} = \Delta S_{end}^O + \Delta S^T = \kappa \times s^O \times \Delta M_{end}^O + \mu \times s^T \times \Delta M^T. \quad (17)$$

Сопоставив выражения (11) и (16), а также (12) и (17), можно определить относительное сокращение прироста продолжительности и стоимости ОКР и ТПП, вызванное ошибками и последующими переделками:

$$\frac{\delta D_{end} - \delta D}{\delta D_{end}} = \frac{\Delta D_{end}^O - \Delta D^O}{\Delta D_{end}^O + \Delta D^T}; \quad (18)$$

$$\frac{\delta S_{end} - \delta S}{\delta S_{end}} = \frac{\Delta S_{end}^O - \Delta S^O - K_{add}^{O+T}}{\Delta S_{end}^O + \Delta S^T}. \quad (19)$$

Это относительное сокращение, достигаемое благодаря новым принципам организации разработки и подготовки производства наукоемких изделий, можно считать относительной мерой эффективности интеграции ОКР и ТПП. Реализация рассмотренного инструментария оценки экономической эффективности интеграции ОКР и ТПП требует учета следующих важных условий.

*Во-первых*, в рассмотренном инструментарии изначально учитывается возможность появления на стадии ОКР лишь одной ошибки с вероятностью  $H \leq 1$ . Тем не менее, анализ формулы (18) показывает, что относительное сокращение объема переделок не зависит от этой вероятности. Поэтому можно допустить возможность появления нескольких ошибок в процессе выполнения ОКР с разными вероятностями при условии,



что ошибки на тех или иных этапах ОКР рассматриваются как события, не исключющие друг друга и независимые с вероятностной точки зрения.

*Во-вторых*, после обнаружения на  $j$ -ом этапе ТПП ошибки, допущенной на  $i$ -ом этапе ОКР в ходе переделки соответствующих этапов работ, не исключено появление повторно новой ошибки. Если повторные ошибки возможны и их число на данном этапе ОКР не ограничено, то суммарная вероятность ошибки на данном этапе равна сумме следующей бесконечной и убывающей геометрической прогрессии:

$$h + h^2 + h^3 + \dots = \frac{h}{1-h}. \quad (20)$$

Следует учитывать, что если  $h < 1$ , то  $\frac{h}{1-h} \approx h$ . В противном случае все ожидаемые

объемы переделок следует умножить на величину, равную  $\frac{1}{1-h}$ . Но, поскольку этот

множитель будет входить во все слагаемые числителя и знаменателя итогового выражения (18), то его учет не скажется на относительном сокращении объема переделок, достигаемом благодаря интеграции ОКР и ТПП. Следовательно, рассматриваемый инструментарий применим и в этом случае.

*В-третьих*, благодаря интеграции ОКР и ТПП сокращается ожидаемое число этапов опытно-конструкторских работ, подлежащих переделке:  $\Delta M^O < \Delta M_{end}^O$ . Сравнение формул (11) и (16) показывает, что это изменение не будет существенным при следующих условиях:  $\kappa \times d^O \ll \mu \times d^T$ ,  $\kappa \times s^O \ll \mu \times s^T$ ,  $\Delta M^O \approx \Delta M_{end}^O$ . При больших значениях затрат на новую организацию ОКР и ТПП  $K_{add}^{O+T}$ , суммарная стоимость этих стадий ЖЦИ может даже возрасти, что сделает данную интеграцию неэффективной. При  $\kappa \times d^O \gg \mu \times d^T$ ,  $\kappa \times s^O \gg \mu \times s^T$ ,  $\Delta M^O \ll \Delta M_{end}^O$  интеграция ОКР и ТПП позволяет существенно снизить ожидаемые длительность и стоимость вывода нового инновационного изделия на рынок благодаря сокращению потребного объема переделок за счет более раннего обнаружения ошибок при проведении ОКР.

Если при проведении опытно-конструкторских работ разрабатывается инновационное радиоэлектронное изделие, производство которого потребует внедрения на предприятии-изготовителе новой технологии, то основным средством снижения технологических рисков его создания является оценка технико-экономической эффективности указанной технологии. Критерии для рассматриваемой оценки должны выбираться с учетом следующих принципов: минимума затрат, максимума эффективности, равнозначности показателей оценки и объективной полезности технологии. В современных условиях основными среди них являются критерии минимума затрат и максимума эффективности [7].

Критерий минимума затрат целесообразно выразить следующим образом:

$$Z(\lambda, \omega) = \min Z(\tau, \omega), \quad \lambda \in G, \tau \in G, \omega \in N; \quad (21)$$

$$E^F(\lambda, \omega) \geq E_{TR}^F, \quad (22)$$

где  $Z$  – суммарные затраты на внедрение технологии;  $\lambda\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$  – значения характеристик технологии, обеспечивающих минимум суммарных затрат;  $\omega$  – условия технико-экономической оценки;  $\tau\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$  – текущие значения определяемых характеристик технологии;  $G$  – множество допустимых значений определяемых характеристик;  $E^F$  – показатель эффективности технологии;  $E_{TR}^F$  – требуемое значение показателя эффективности технологии;  $N$  – множество допустимых значений условий технико-экономической оценки технологии.

Критерий (21) целесообразно применять при наличии обязательных ограничений на значения показателя эффекта от внедрения технологии.



Критерий максимума эффективности применяется при ограниченных затратах на внедрение технологии и поэтому он имеет следующий вид:

$$E^F(\lambda, \omega) = \max E^F(\tau, \omega), \quad \lambda \in G, \tau \in G, \omega \in N; \quad (23)$$

$$Z(\lambda, \omega) \leq Z_{TR}, \quad (24)$$

где  $\lambda$  – значения характеристик технологии, обеспечивающих максимум эффективности ее внедрения;  $Z_{TR}$  – требуемое значение суммарных затрат на внедрение технологии.

Достоинством данных критериев является возможность применения при их использовании хорошо разработанных методов однокритериальной оптимизации. Основным недостатком рассматриваемых критериев заключается в отсутствии приемлемых аналитических зависимостей и процедуры обоснования ограничений на значения получаемых с их помощью показателей. В случае, когда нет четких ограничений или требований к максимизации показателей, при поиске требуемого результата можно проводить оптимизацию с использованием метода «эффективность-стоимость» и критерия эффективности (V) следующего вида:

$$V(\lambda, \omega) = \{Z(\tau, \omega), E^F(\tau, \omega)\} \quad (25)$$

Критерий (25) целесообразно применять для выбора одного из нескольких конкурирующих вариантов технологии, когда необходимо учесть ее технические и экономические характеристики. Возможны и другие варианты формирования критериев технико-экономической оценки технологии с использованием концепции общей эффективности.

При оценке технического уровня новой технологии необходимо проводить сравнение ее параметров с прогнозируемыми на момент ее освоения лучшими мировыми образцами технологии данного вида и назначения. Важным условием создания базы сравнения, позволяющей объективно оценивать технический уровень технологий, является подход, дифференцированный по их классам.

Комплексный подход к технико-экономической оценке технологии требует учета важнейших показателей, характеризующих ее техническую, экономическую и социальную эффективность. При этом ключевыми задачами, требующими первоочередного решения, являются:

- уточнение перечней важнейших показателей оценки;
- установление базовых значений отдельных показателей;
- определение коэффициентов весомости по группам показателей;
- установление зависимостей между различными характеристиками технологии;
- разработка методики оценки эффективности технологии;
- апробация разработанных методических рекомендаций и моделей.

Наиболее сложной и наименее решенной в настоящее время является задача установления приемлемых для практического использования зависимостей между техническими и экономическими характеристиками технологии. Для ее решения можно, с нашей точки зрения, использовать следующие методы: детерминированные аналитические; регрессионного анализа; факторного анализа; экспертных оценок. Детерминированные аналитические методы применяются при наличии необходимых условий для установления однозначных неслучайных соотношений между экономическими и техническими характеристиками. Как правило, эти соотношения устанавливаются между двумя переменными: например, «стоимость-эффективность», «стоимость-время разработки» и т.п. При этом процесс формирования аналитических функций основан на анализе структурных или функциональных связей между исследуемыми характеристиками технологии или на обработке статистических данных, содержащих значения исследуемых характеристик. В том случае, когда нет условий для установления аналитической зависимости между случайными значениями экономических и технических характеристик, применяется регрессионный анализ.

Методы регрессионного анализа являются в настоящее время наиболее эффективными для определения аналитических соотношений между стоимостью и характеристиками технологии. Однако с целью повышения точности определения



соотношений необходимо иметь достаточно большой объем выборки, получение которой для технологии, как правило, не представляется возможным.

Факторный анализ основан на использовании методов регрессионного анализа и применяется в тех случаях, когда необходимо оценить влияние отклонений технических характеристик (факторов) на изменение стоимости технологии. При малом объеме выборки применение методов регрессионного и факторного анализа не обеспечивает требуемой точности в определении искомых зависимостей. В этом случае, для решения рассматриваемой задачи можно использовать метод экспертных оценок, который, как показывает практика, при правильном подборе состава экспертов может обеспечить приемлемые по точности и достоверности результаты.

Рассмотренные в статье методические подходы, методы и алгоритмы оптимизации жизненного цикла разработки радиоэлектронной продукции имеют универсальный характер. Они могут быть использованы во всех высокотехнологичных отраслях промышленности. Практическое применение разработанного инструментария обеспечит повышение эффективности процесса разработки высокотехнологичной продукции.

### Список литературы

1. Авдонин Б.Н., Батьковский А.М., Батьковский М.А. и др. Развитие теории и практики управления предприятиями высокотехнологичного комплекса. – М.: МЭСИ. – 2013. – 366 с.
2. Батьковский А.М. Прогнозирование и моделирование инновационного развития экономических систем. – М.: ОнтоПринт. – 2011. – 202 с.
3. Батьковский А.М. Управление инновационным развитием предприятий радиоэлектронной промышленности. – М.: ОнтоПринт. – 2011. – 248 с.
4. Авдонин Б.Н., Хрусталева Е.Ю. Методология организационно-экономического развития наукоемких производств. – М.: Наука. – 2010. – 167 с.
5. Ключков В.В. Управление инновационным развитием наукоемкой промышленности: модели и решения. – М.: ИПУ РАН. 2010. – 168 с.
6. Авдонин Б.Н., Батьковский А.М. Экономические стратегии развития предприятий радиоэлектронной промышленности в посткризисный период. – М.: Креативная экономика. – 2011. – 512 с.
7. Авдонин Б.Н., Батьковский А.М., Батьковский М.А. и др. Теоретические основы и инструментарий управления долгосрочным развитием высокотехнологичных предприятий. – М.: МЭСИ. – 2011. – 282 с.
8. Чудинов С.М., Маликов С.Н., Зуев И.В. Подходы по выбору плис при проектировании вычислительных устройств для обработки информации. Научный журнал Ведомости БелГУ. г. Белгород 2014 год № 1 (172) 29/1 161-168 с.

## INSTRUMENTATIONS OPTIMIZATION OF THE DEVELOPMENT LIFE CYCLE OF ELECTRONIC PRODUCTS

**A.M. BATKOVOVSKY<sup>1</sup>**  
**M.A. BATKOVOVSKY<sup>2</sup>**  
**G.A. ROYKO<sup>3</sup>**  
**S.M. CHUDINOV<sup>3</sup>**

<sup>1)</sup> JSC «Central Scientific Research Institutes «Electronics»

<sup>2)</sup> The Federal state unitary enterprise «MNIIRIP»

<sup>3)</sup> JSC "scientific research Institute of Supercomputers

e-mail:  
batkovskiy\_a@instel.ru  
batkovskiy@yandex.ru  
superibmroiko@yandex.ru  
chud35@yandex.ru

The article considers the methodological framework and economic-mathematical tools of optimization of the development life cycle of electronic products. Proposed a new, more effective organization of the process of development of electronic products, as well as tools for assessment of technical and economic efficiency of new technologies introduced at the enterprises-manufacturers of given production.

Keywords: technological risks, the company, electronic products, instruments, efficiency, development, life cycle, the product.