

ПРОЦЕСС АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ

Аннотация: В работе обобщена структурная схема автоматизированного управления процессом производства электронных аппаратов, предложена структура системы автоматизированного управления производством электронного аппарата, включающая лицо, принимающее решение и систему поддержки принятия решения, сформирована концептуальная модель предметной области.

Ключевые слова: концепция управления, электронный аппарат, система поддержки принятия решений, эффективность управления.

Введение

Осуществление автоматизированного управления процессом производства электронных аппаратов представляют комбинацией функционирования систем моделирования и непосредственно систем управления. Первый вид подсистем позволяет посредством математического моделирования получать такие характеристики электронных аппаратов, типовых элементов замены, печатных плат и элементов, как амплитудно-частотные, фазочастотные, формы колебаний, собственные частоты, поворотные углы и др. [1,6]. Второй вид подсистем осуществляет непосредственно функции иерархического управления [2,4]. Целью исследований является решение актуальной научно-технической проблемы совершенствования теории автоматизированного управления технологическим процессом производства сложноорганизованных технологических объектов (на примере электронных аппаратов), внедрение которой в практику производства позволит повысить виброустойчивость электронных аппаратов, адаптировать выпускаемое изделия к условиям эксплуатации и повысить надежность в процессе их эксплуатации при оптимизации технико-экономических показателей всего процесса производства в целом.

Основное содержание и результаты работы

Рассматривая процесс автоматизированного управления технологическим процессом производства, следует выделить три уровня управления [3,7]. На первом уровне управления решается задача устранения неопределенности, связанной с отсутствием изученных зависимостей между назначением объекта, предъявляемым требованиям к его параметрам и явной возможностью управления состоянием этих параметров по имеющемуся описанию объекта.

На втором уровне управления необходимо определить и проанализировать технико-экономические показатели процесса производства с целью возможности их оптимизации. На нижнем (третьем) уровне управления осуществляется процесс подстройки структуры производимого объекта под требования виброустойчивости, отстройки от резонансных явлений и эффектов, возникающих вследствие эмерджентности исследуемой системы, надежности характеристик выпускаемого изделия. Процесс управления в виде трехуровневой системы [5] приведен на рис. 1.

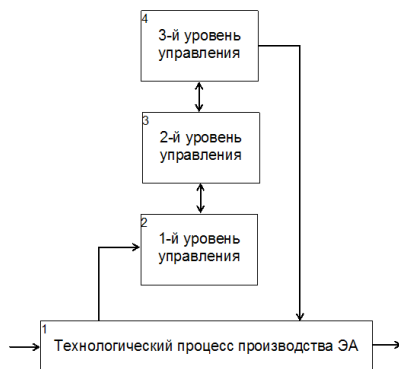


Рис. 1 – Структурная схема автоматизированного управления процессом производства электронных аппаратов

Организация первого уровня управления осуществляется путем моделирования объекта исследования и генерации управляющих воздействий на преобразование его строения посредством критериев компоновки. Второй уровень управления базируется на уже сформированном представлении об объекте и по образцу изделия определяет технико-экономические показатели технологического процесса его производства. Для такого рода оценки применен критерий качества технологического процесса. Так как заранее неизвестно, как какое-либо вмешательство в “естественный” ход процесса производства повлияет на его характеристики, то неизвестным является и то, как качественные характеристики процесса производства спроецируются на свойства и качество готового изделия. В связи с этим необходим третий, вероятностный критерий, который в свою очередь базируется на технологии работы с базами знаний, систематизирующей и анализирующей стохастические характеристики процесса изготовления изделия, влияние параметров изделия на процесс производства и пр.

Для рис. 1: блок 1 – объект исследований - технологический процесс производства блока электронного аппарата, блок 2 – первый уровень управления, отвечающий за повышение качества и наде-

жности изготавливаемого изделия, блок 3- второй уровень управления, отвечающий за оптимизацию параметров технологического процесса производства, блок 4 – третий уровень управления, идентифицирующий важность того или иного показателя качества изделия для определенного назначения объекта и систематизирующий вероятности проявления отказов и поломок у исследуемого объекта.

Также необходим механизм, выполняющий накопление статистических и интеллектуальных данных о том, что для таких объектов в условиях эксплуатации происходит следующий ряд явлений или событий, некоторые из этих ситуаций можно устранить следующими мероприятиями, на весь ход процесса это повлияет следующим образом, но даже после выполнения такого анализа необходимо оценить рациональность выполненных действий [4,7–9].

В такого рода вероятностном критерии можно выделить неопределенности нескольких уровней: неопределенности, обусловленные вероятностным характером причинно-следственных связей признаков изделия, неопределенности так называемого интеллектуального характера, определяющие какие именно методы и способы применить и на какой фактор обратить большее внимание. Для такого рода задачи анализа невозможно заранее сказать, что послужило причиной отказа и какой наиболее эффективный метод или путь исключения этой ситуации. Также имеют место неопределенности, обусловленные невозможностью количественной оценки необходимого времени на устранение возможных неисправностей и прогнозирования количественного влияния этого процесса на темп или скорость процесса производства. Неясным является также вопрос допустимости, эффективности и возможности реализации конкретных компоновочных решений для объекта определенного назначения. При этом неясно - не повлечет ли это за собой недопустимое удорожание изделия, что перечеркнет вообще необходимость достижения столь высоких показателей качества при неоправданно высоких затратах.

Сама неопределенность кроется и в ситуации, когда неизвестно как объекты вообще поведут себя в условия эксплуатации. Какая из характеристик изделия иллюстрирует возможные неисправности и дает больший взнос в отказ, какая существует зависимость между изменением структуры объекта, анализируемой его характеристикой и как изменятся при этом тот или иной параметр производственного процесса. Для каких объектов недопустимо вообще производство без предварительного моделирования их поведения в процессе эксплуатации, а для каких объектов необходимо просто минимизировать стоимость производства.

Опираясь на специфику рассматриваемой предметной области, получаем, что в автоматическом режиме отслеживать и анали-

зировать описанные неопределенности невозможно, поэтому на настоящий момент можно организовать только автоматизированное управление процессом производства электронного аппарата. Предполагаемая структура системы поддержки принятия решения имеет вид, приведенный на рис. 2.

С учетом особенностей рассмотренного технологического процесса производства электронного аппарата и сформулированных принципов управления [3], возможно изобразить структуру автоматизированного управления в виде, приведенном на рис. 2.

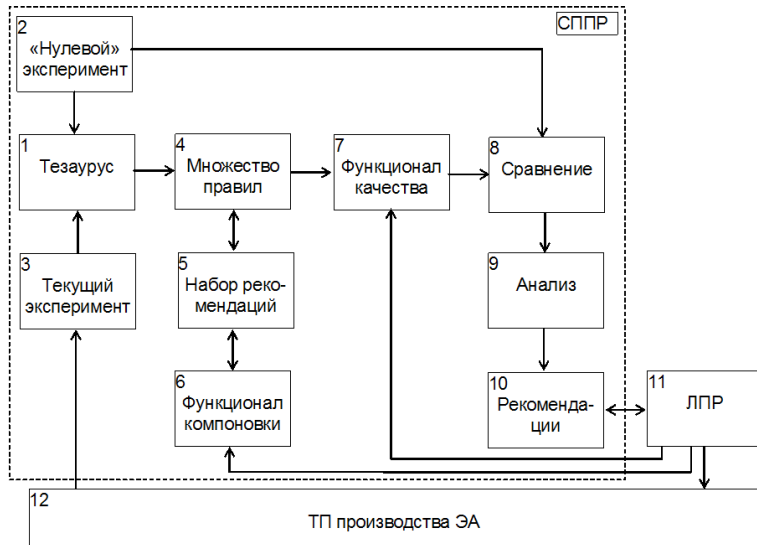


Рис. 2 – Структура системы автоматизированного управления производством электронного аппарата

На рис. 2 [2–6,8]: блок 1 – содержит алфавит базы знаний; блок 2 и блок 3 – текущая и базовая ситуации анализа надежности и виброустойчивости электронного аппарата, блок 4 – множество схем преобразования возможных ситуаций сочетания параметров, свойств и компоновки в сценарии усовершенствования конструкции изделия; блок 5 – непосредственно рекомендации по изменению параметров и компоновки электронного аппарата; блок 6 – элемент количественной оценки качества компоновки электронного аппарата; блок 7 – элемент количественной оценки свойств надежности электронного аппарата, стоимости и скорости технологического процесса и т.п. параметров качества технологического процесса; блок 8 – реализует сравнение показателей качества текущего проекта с некоторым “идеальным”, блок 9 – осуществляет анализ результатов сравнения, блок 10 – генератор рекоменда-

ций по усовершенствованию процесса производства, блок 11 – лицо, принимающее решение, которое опирается на результаты моделирования и расчетов и выдает окончательные сценарии, блок 12 – непосредственно технологический процесс производства электронного аппарата.

На рис. 2 блок 11 выполняет руководящую функцию, как для процессов компоновки электронного аппарата и оценки качества технологического процесса по комплексному критерию качества, так и для принятия решения о необходимости менять какие-либо компоновочные характеристики изделия, или вообще анализировать параметры для изделия определенного назначения. Функционирование последовательности блоков 4 – 6 отображает усовершенствование компоновки электронного аппарата, причем по множеству правил отслеживают все ситуации, вызывающие сбои и отказы электронного аппарата, а по ним генерируются возможные сценарии улучшения компоновочных свойств, причем из набора рекомендаций подобного рода по критерию компоновки отбираются наиболее воздействующие факторы и определяется последовательность их применения, а далее функции блока 11 сводятся или к одобрению подобного рода модификаций, или к игнорированию их. Для цикла, состоящего из блоков 7 – 10, происходит системный анализ учета влияния каждого из составляющих качественных характеристик на параметры процесса производства, причем анализируется для каких объектов необходимо анализировать изделие по предлагаемой схеме, а для каких вообще недопустимо. Полученные параметры технологического процесса сравниваются с параметрами идеального технологического процесса (блок 2), и далее происходит вычисление критерия качества технологического процесса. Полученный показатель сравнивается с допустимым и выдается рекомендация о разрешении выпуска изделия. Полученные результаты возвращаются на технологический процесс (блок 12, рис. 2).

Концептуальная модель предметной области имеет вид, приведенный на рис. 3. Здесь явно прослеживается тенденция к структуризации информационного описания предметной области, детально повторяющее иерархические особенности объекта исследований.

Для рис. 3 элемент в фигурных скобках показывает иерархичность информационного описания объекта исследований и включает концептуальную модель предметной области типового элемента замены.

В рассматриваемом автоматизированном управлении выделены подсистемы: создания предварительного образа изделия, выполнения моделирования, проведения экспериментальных исследований по идентификации и исследованию недостающих па-

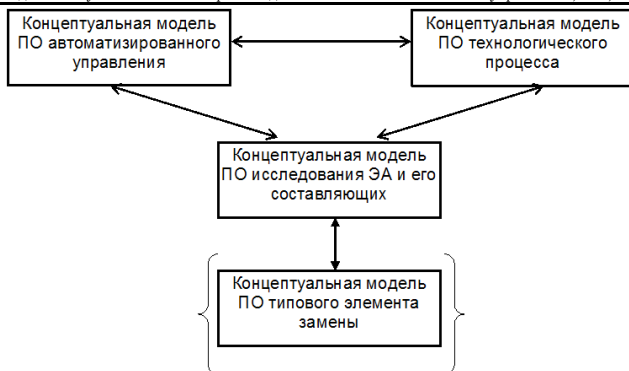


Рис. 3 – Концептуальна модель предметної області

раметров, оценки качества изделия, оценки качества техпроцесса и интеллектуальную подсистему получения и обработки знаний.

Следует отметить, что каждая из них вполне самостоятельна и универсальна для разного рода задач, а также каждая из подсистем характеризуется высокой степенью автономности, что позволяет реализовать различные варианты параллельного включения компонентов системы и организовать многопользовательский интерфейс с параллельной обработкой данных.

Рассматривая, к примеру, результаты функционирования принципов управления процессом производства блоков электронных аппаратов, построенных на основании критерия компоновки блока электронного аппарата [4], получаем систему весовых коэффициентов W_i и проранжируем по ней множество решений из области Парето, позволяющее получить компромиссный вариант, сбалансированный по противоречивости относительно совокупности частных критериев Φ_i показателей свойств исследуемого объекта. Точками Парето являются точки пространства решений $x_n \in X$, для которых выполняется условие

$$\Phi(x_n) = \sum_{i=1}^m W_i \Phi_i(x_n) \leq \Phi(X). \quad (1)$$

Таким образом, точки области Парето представляют собой перспективные варианты решения. Для существования области Парето, т.е. для $x_n \in X$, необходимо, чтобы существовало также множество весов $W = (W_1, \dots, W_m)$, $W_i > 0$:

$$\sum_{i=1}^m W_i \frac{\partial \Phi_i}{\partial x_n} = 0, \quad (2)$$

т.е.

$$\text{grad} \left(\sum W_i \Phi_i \right) = 0, \quad (3)$$

что позволяет сформулировать комплексную целевую функцию

$$\Phi = \sum_{i=1}^m W_i \Phi_i \quad (4)$$

и максимизировать ее в процессе поиска решений для получения точек множества Парето $x_n \in X$.

Задачу максимизации (4) сформулируем как задачу минимизации функционала в пространстве частных критериев $\Phi \in Q$

$$\pi = W^t \Phi, \quad (5)$$

где Q – область допустимых или реализуемых решений.

При этом определяется точка $\Phi \in Q$ так, что ее проекция на W является наибольшей среди всех $\Phi \in Q$. В этом случае $\Phi(x_n)$ лежит на границе Q и функционал π определяет плоскость касательную в точке Парето x_n и поддерживающую область Q .

Для рассматриваемого случая, когда частные критерии не могут быть оптимизированы по одним и тем же параметрам объекта, вводим в рассмотрение аддитивный комплексный показатель

$$W(\Phi) = \sum_{k=1}^m W_k \Phi'_k, \quad W_k > 1, \quad \sum_{k=1}^m W_k = 1, \quad (6)$$

где Φ'_k – нормированный показатель, определяемый выражениями

$$\Phi'_k = \frac{\Phi_{k \max} - \Phi_k}{\Phi_{k \max} - \Phi_{k \min}}, \quad (7)$$

или

$$\Phi'_k = \frac{\Phi_k - \Phi_{k \min}}{\Phi_{k \max} - \Phi_{k \min}}. \quad (8)$$

С целью устранения возможности компенсации снижения качества по одному частному критерию повышением качества по другому (при выполнении функции разностороннего анализа) для сравнения вариантов решения используем следующий комплексный критерий

$$W(\Phi) = \sqrt{\sum_{k=1}^m W_k^2 \left(\frac{\Phi_{k \max}}{\Phi_k} - 1 \right)^2}, \quad \text{если } \Phi_k \rightarrow \max. \quad (9)$$

Применение (9) обеспечивает предпочтительный выбор таких вариантов компоновки электронного аппарата, при которых значения частных критериев располагаются ближе к некоторому иде

альному вектору $(\Phi_{1max}, \dots, \Phi_{kmax})$ при $\Phi_k \rightarrow \max$. При этом отклонение от идеального решения определяется как относительное и взвешенное.

В качестве частных критериев объекта примем критерии [3–6], сведенные в табл. 1.

Таблица 1

Частные критерии компоновки блока ЭА

| № п/п | Обознач. частного критерия | Величина | Смысл |
|-------|----------------------------|---------------------------------|--|
| 1 | Φ_1 | [0; 1] (дискретные значения) | Устойчивость к механическим воздействиям блока ЭА |
| 2 | Φ_2 | [0; 1] (дискретные значения) | Рациональность подбора типа амортизаторов и вида СВИ |
| 3 | Φ_3 | [0; 1] (дискретные значения) | Рациональность компоновки блока ЭА |

К варьируемым параметрам объекта отнесем компоненты критерия компоновки блока электронного аппарата [5–9] значения которых сведены в табл. 2.

Таблица 2

Варьируемые параметры объекта

| № итерации | Варьируемые параметры | | | | | | | | | |
|------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | x_8 | x_9 | x_{10} |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.3 | 1000 | 0.6 | 1000 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | |
| 3 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.3 | 1000 | 0.6 | 1000 |
| 4 | 1 | | 1 | 1 | | | | | | |
| 5 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 0.3 | 1000 | 0.6 | 1000 |
| 6 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| 7 | | | | | 1 | 1 | 0.3 | 1000 | 0.6 | 1000 |
| 8 | | | | | | | | | | |

Для табл. 2 $x_1 - x_{10}$ представляют собой компоненты критерия компоновки блока электронного аппарата, вида: собственные частоты блока электронного аппарата, амплитудно-частотные характеристики для различных видов систем виброизоляции блока и др.

Анализируя табл. 2 получаем, что рациональность компоновки блока электронного аппарата необходимо заменить некоторым комплексным критерием качества. В результате такой замены столбцы $x_5 - x_{10}$ табл. 2 заменяем одним столбцом, содержащим значение 1 для случая необходимости обеспечения рациональной компоновки блока электронного аппарата и значением 0 в противном случае.

Формирование непосредственно функционала критерия компоновки блока электронного аппарата осуществим путем линейной комбинации вероятностей появления каждого из случаев необходимости обеспечения устойчивости к вибрационным воздействиям блока электронного аппарата и его составляющих и выполнения требования оптимальности компоновки блока электронного аппарата. В результате критерий компоновки имеет вид

$$f_2(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = 0.25x_1 + 0.13x_2 + 0.25x_3 + 0.2x_4 + 0.17x_5. \quad (10)$$

Наличие нескольких слагаемых с одинаковыми коэффициентами показывает единство причин появления факторов нарушения функционирования электронных аппаратов и его составляющих в условиях эксплуатации и противоречивость требований выполнения рациональности компоновки блока электронного аппарата. На практике может появиться либо один из анализируемых факторов (табл. 2), либо все, либо их комбинация, что и учитывается видом предложенного критерия компоновки.

Ограничения, накладываемые на функционал управления, связаны со стоимостью обнаружения и устранения каждого из анализируемых явлений и суммарной стоимостью обеспечения требуемых параметров изделия на ограниченном наборе управляющих воздействий на объект. Вид ограничений, накладываемых на функционал управления следующий:

$$0.19x_1 + 0.14x_2 + 0.27x_3 + 0.23x_4 + 0.17x_5 \leq 0.35. \quad (11)$$

Имеем задачу максимизации [1–3,8], так как ищем случай, удовлетворяющий требованиям обеспечения максимальной устойчивости блока электронного аппарата к механическим и вибрационным воздействиям, происходящее одновременно с обеспечением требования наилучшей компоновки самого блока, анализируемые с точки зрения частоты встречаемости тех или иных факторов, вредно влияющих на компоновку блока электронного аппарата. Из всех возможных вариантов компоновки электронного аппарата предложенный критерий компоновки выбирает на первом этапе оптимальные по частоте встречаемости компоненты, а на втором этапе определяет оптимальные по стоимости обнаружения и стоимости устранения компоненты. Результаты выполнения процедуры определения вектора весов для аддитивного критерия качества сведены в табл. 3.

Выбрав из табл. 3 вариант, соответствующий максимуму критерия компоновки блока электронного аппарата, получим случай 3, когда необходимо анализировать собственные частоты блока электронного аппарата, его частотные характеристики, одновременно обеспечивая рациональность компоновки блока электронного аппарата. Этот вариант соответствует практике обеспечения устой-

Определение вектора весов для аддитивного критерия качества

| № ите-ра-ции | Значение функции | Весы | | | Частные критерии | | |
|--------------|------------------|----------|---------|----------|------------------|----------|----------|
| | | W_1 | W_2 | W_3 | Φ_1 | Φ_2 | Φ_3 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 3 | 172.000107 | 98 | 0.00001 | 17 | 1 | 0 | 1 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 6 | 149.999987 | 0.000001 | 40 | 0.000001 | 0 | 1 | 0 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

чивости блока электронного аппарата к механическим, вибрационным и ударным воздействиям, с тем отличием, что это выполнялось высококвалифицированными экспертами при доводке изделия после отбраковки на испытаниях. Предложенный критерий компоновки блока электронного аппарата позволяет систематизировать решение задачи обеспечения устойчивости объекта к внешним воздействиям и включить анализ поведения блока в условиях эксплуатации в существующий процесс его производства.

Выбор критерия компоновки блока электронного аппарата повлечет за собой изменения в программах управления: станками сверловки для генмонтажных плат; станками с числовым программным управлением для установки электрорадиоэлементов и печатных плат на типовой элемент замены для генмонтажных плат; станками штамповки заготовок печатных плат для генмонтажных плат; гибких производственных модулей автоматизированной складской системы; станками штамповки детали корпуса; картами прокладки шлейфовых соединений сборщиками; подбором виброизоляторов; участком выполнения сборочных операций.

По результатам создания и исследования критерия компоновки электронного аппарата методом Парето получены сценарии достижения оптимальных параметров и компоновки производимого изделия, что в свою очередь нашло отражения в инструкциях и руководстве пользователя, которые прилагаются при внедрении разработанного программно-технического комплекса для моделирования механических нагрузок электронных аппаратов на предприятиях региона и в учебный процесс. Что касается автоматизированного управления, то составленные функционалы и их ограничения являются элементами баз знаний по получению набора рекомендаций и множества правил системы поддержки принятия решений.

В предлагаемой концепции автоматизированного управления предполагается, что тип объекта, для которого изготавливают электронный аппарат, определяет не только условия эксплуатации, но и возможность внесения модификаций в процесс его производства, допускает вариации затрат на производство и некоторые вариации по скорости процесса производства. База знаний и механизм получения решения связаны с назначением объекта вероятностным критерием, что систематизирует знания экспертов и опыт специалистов, занимающихся проблемой повышения качества и надежности электронных аппаратов.

Возможны варианты условий эксплуатации, которые учитываются в математической модели объекта, что дает универсальность в работе всего процесса управления, так как происходит трансформация механических (вибрационных, ударных, резонансных) и показателей надежности выпускаемого изделия по результатам моделирования на основании критериев компоновки объекта, и при смене математической модели эту методику управления можно применить либо для других условий эксплуатации, либо для других объектов.

Возврат к процессу производства необходим, так как виртуальная надстройка в форме моделирующих комплексов вносит некоторые изменения в структуру и параметры производимого изделия, это необходимо передать на процесс производства и отследить рациональность вносимых изменений по критерию анализа качества технологического процесса.

Единый алгоритм, учитывающий все эти факты, отличается большой универсальностью и гибкостью, так как позволяет перестраиваться на любые другие сложноорганизованные системы вне зависимости от их информационного наполнения.

Выводы

Обобщена структурная схема автоматизированного управления процессом производства ЭА, отличающаяся иерархичностью уровней, что дает возможность анализировать и управлять различными ситуациями возникающими, как на объекте, так и в процессе его производства.

Предложена структура системы автоматизированного управления производством электронного аппарата, включающая лицо, принимающее решение и систему поддержки принятия решения, отслеживающие параметры и компоновку блоков электронных аппаратов и свойства технологического процесса, сравнивающие эти параметры с допустимыми значениями и преобразующие (выдающие рекомендации) с целью достижения оптимальных их сочетаний на основании методов теории искусственного интеллекта.

Сформирована концептуальная модель предметной области, соединяющая процесс автоматизированного управления технологи-

ческим процессом производства электронного аппарата с представлением электронного аппарата и его составляющих, что позволяет сформировать инструментарий управляющих воздействий на параметры и компоновку электронного аппарата и отследить их взаимосвязь со свойствами технологического процесса производства.

Библиографический список

1. Смолий В.М. Автоматизация процесів виробництва блоків електронних апаратів: Монографія. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – 124 с.: табл. 11, іл. 56, бібліогр. 88 найм.
2. Смолий В.Н. Организация управления процессом производства блоков электронных аппаратов// Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації. - 2006. – №2(13). – С. 93–97.
3. Смолий В.Н. Принципы управления процессом производства электронных аппаратов// Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2007.- Вип. 33. – С. 282–289.
4. Смолий В.Н. Критерий компоновки блока электронного аппарата// Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 6 (47). – Дніпропетровськ, 2006. – С. 228–234.
5. Смолий В.Н. Управление производством сложноорганизованных технологических объектов//Вісник СНУ ім.В.Даля.– 2009. - № 2 (132). Ч.2. – С. 46–55.
6. Смолий В.Н. Исследование эффективности управления процесса производства электронных аппаратов // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2010.- Вип. 39. – С. 174–178.
7. Смолий В.Н. Особенности концепции управления производством электронных аппаратов// Вісник СНУ ім.В.Даля. – 2010. - № 2 (144). - С. 128–133.
8. Vitaly Ulshin, Victoria Smoliy. Automated management by designer preparation of production of electronic vehicles/ ТЕКА Ком. Mot. I Energ. Roln. – OL PAN, 2011, 11A, P. 276–281.
9. Ульшин В.А., Смолий В.Н. Функции лица, принимающего решение, при управлении производством электронных аппаратов// Вісник СНУ ім.В.Даля. – 2011. - № 3 (157) - с. 214–220.

Отримано 22.10.2013 р.