

УДК 658.511

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ АНАЛИЗЕ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ПРЕЦИЗИОННЫХ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Е. Г. Семенова^а, доктор техн. наук, профессор

О. И. Васильев^а, аспирант

^аСанкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, РФ

Постановка проблемы: отсутствие достаточной инфраструктурной базы, недостаток квалифицированных кадров, высокие требования к качеству исполнения внутренних поверхностей и геометрических контуров прецизионных сложнопрофильных конструкций подчеркивают необходимость совершенствования научных и методологических принципов организации и управления производством на основе разработки моделей и процедур информатизации, мониторинга, планирования и оценки устойчивости производственных процессов. **Результаты:** разработаны функциональные модели деятельности производства в нотации IDEF0 на основании международных стандартов качества. Проведены анализ и оптимизация технологических процессов и организационной структуры предприятия, благодаря чему удалось повысить такие качественные характеристики конечного продукта, как плотность осадка, отсутствие образования дендрита и др. **Практическая значимость:** в результате реинжиниринга процессов налажено взаимодействие аналитической лаборатории и опытного производства. Испытан и получен положительные результаты метод воздействия фоновой акустической резонансной регуляции самоорганизации процессов, известный также как тензиоимпульсная резонансная регуляция, что позволило увеличить скорость осаждения, плотность и равномерность структуры кристаллической решетки; добиться отсутствия образования дендрита.

Ключевые слова — системный анализ, производство, волновод, радиоэлектронная аппаратура, процессный подход, IDEF0, функциональное моделирование, прецизионные сложнопрофильные конструкции, гальванопластика, электрохимическое формообразование, инфраструктура, технология.

Введение

Технологии производства радиоэлектронной аппаратуры и антенные комплексы двойного назначения включают в себя элементы прецизионных сложнопрофильных конструкций (ПСК) волноводных систем. Высокие требования к качеству внутренних поверхностей и геометрических контуров таких ПСК, высокая стоимость, а зачастую и невозможность использования импортных ПСК в оборонном заказе подчеркивают необходимость планирования, проектирования и организации производства ПСК с использованием методов механической и гальванической обработки.

Увеличение доли отечественных радиоэлектронных изделий, активизация инновационной деятельности и ускорение внедрения результатов научно-технической деятельности, создание современного высокотехнологичного производства актуализируют тему в утвержденном распоряжением Правительства РФ от 15 декабря 2012 г. № 2396-р паспорте Государственной программы РФ «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013—2015 годы».

Для реализации этой цели необходимо решить ряд следующих задач:

— провести анализ особенностей условий и принципов организации процессов производства ПСК элементов волноводных систем;

— раскрыть особенности инфраструктурного обеспечения процессов производства ПСК как элементов сверхвысококачественных устройств;

— разработать функциональные модели, критерии и процедуры технологических процессов изготовления ПСК;

— разработать критерии и процедуры анализа и оптимизации организационных структур производства ПСК;

— организовать нормативно-техническое обеспечение процессов производства ПСК;

— адаптировать принципы менеджмента качества к задаче управления инфраструктурой предприятия;

— разработать модели процедур управления инфраструктурой производства ПСК, определить роль и место инфраструктурного обеспечения в основном технологическом процессе.

Системный подход при анализе процессов производства ПСК

Ввиду реализации планов расширения производственных мощностей ОАО «Технологическое оснащение» предложило авторам организовать системный подход к проблеме реинжиниринга ключевых (основных) процессов и оптимизации организационной структуры. Основная цель исследования заключалась в достижении единства современного уровня производства, методов ор-

ганизации труда и управления, обеспечиваемого применением международных стандартов качества ГОСТ Р ИСО 9001–2008 «Система менеджмента качества. Требования» [1] и ГОСТ Р ИСО 14001–2007 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению» [2].

Были проанализированы все процессы предприятия, входящего в состав концерна «Радиоэлектронные технологии» ОАО «Технологическое оснащение». На основе требований системы менеджмента качества процессы были ранжированы на ключевые (основные), вспомогательные и процессы управления. Внимание исследованию было акцентировано на ключевых процессах, так как основная технология включает в себя методы электрохимического формообразования и механической обработки изделий в совокупности. Некоторые предприятия изготавливают элементы волноводных систем только механической обработкой металла, что усложняет процесс проектирования данных элементов и сказывается на качестве выходного сигнала. В радиолокационных станциях наземного и воздушного типа, работающих на сверхвысокочастотных диапазонах волн, используют высокопрецизионные элементы волноводных систем со сложным геометрическим профилем. Изготовить подобные системы можно только благодаря технологиям электрохимического формообразования. По сравнению с методами механической обработки технология электрохимического формообразования показывает следующие преимущества:

- экономия цветных металлов и сплавов — до 70%;
- сокращение сроков выпуска изделий — в 5–6 раз;
- снижение трудоемкости изготовления — в 4–6 раз;
- сокращение сроков производства новых изделий — в 3–5 раз;
- снижение расхода инструментальной и легированной стали в среднем — в 2 раза;
- сокращение затрат ручного труда — в 3–5 раз;
- снижение расхода электроэнергии — в 8–10 раз;
- сокращение капитальных вложений — в 4 раза.

Для описания процессов гальванического производства авторами была использована методология функционального моделирования IDEF0, предназначенная для анализа системы как множества взаимодействующих и взаимосвязанных функций. Функциональный подход позволил четко отделить проблемы анализа и проектирования от проблем реализации. IDEF0 позволяет выполнять описание сложных объектов с помо-

щью простого графического языка, состоящего из двух символов, — блока и стрелки [3].

Метод функционального описания графической модели в стандарте IDEF0 и IDEF3 может быть предназначен как для выявления наиболее слабых и уязвимых мест существующей деятельности организации, так и для анализа новых технологических процессов в области электрохимического формообразования, их возможных преимуществ и недостатков.

Говоря о системном подходе, можно говорить о некотором способе организации действий, который охватывает любой род деятельности, выявляя закономерности и взаимосвязи в целях их более эффективного использования. При этом системный подход является методом не столько решения, сколько постановки задач. Это качественно более высокий, нежели просто предметный, способ познания. Системный подход — направление методологии научного познания, в основе которого лежит рассмотрение объекта как системы — целостного комплекса взаимосвязанных элементов [4].

Объектом исследования производства ПСК выступает организация, имеющая значительный опыт и инструментальную базу по отработке технологий электрохимического формообразования в сочетании с процессами механической обработки [5]. В организации ежегодно проводятся аудиты системы менеджмента качества по описанным стандартам на соответствие требований ГОСТ Р ИСО 9001–2008, а также ГОСТ РВ 15002 «Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Система менеджмента качества. Общие требования» [6]. В последние годы такие элементы, как волноводные узлы для радиоэлектронной аппаратуры, не подлежали сертификации в последнем стандарте. Это обстоятельство помогло сократить издержки на содержание ряда специализированных отделов без ухудшения качества.

Организация системного подхода началась с опроса участников процессов (экспертов) и первичной обработки данных. На основании нормативной документации была построена модель взаимодействия функций предприятия «как есть» (AS-IS); ее контекстная диаграмма представлена на рис. 1.

При разработке организационной структуры выяснилось, что на одном уровне с основными процессами стоят вспомогательные. Связано это с тем, что службы, обеспечивающие основные процессы, призваны создавать все необходимые условия для работы таких отделов, как научно-исследовательский отдел формообразования, аналитический отдел и опытное производство. В функции отдела формообразования входит постоянное поддержание принципов совершенствования ос-



■ Рис. 1. Пример контекстной диаграммы «Организация производственных процессов изготовления ПСК волноводных систем»: ЭВУ — элемент волноводного узла

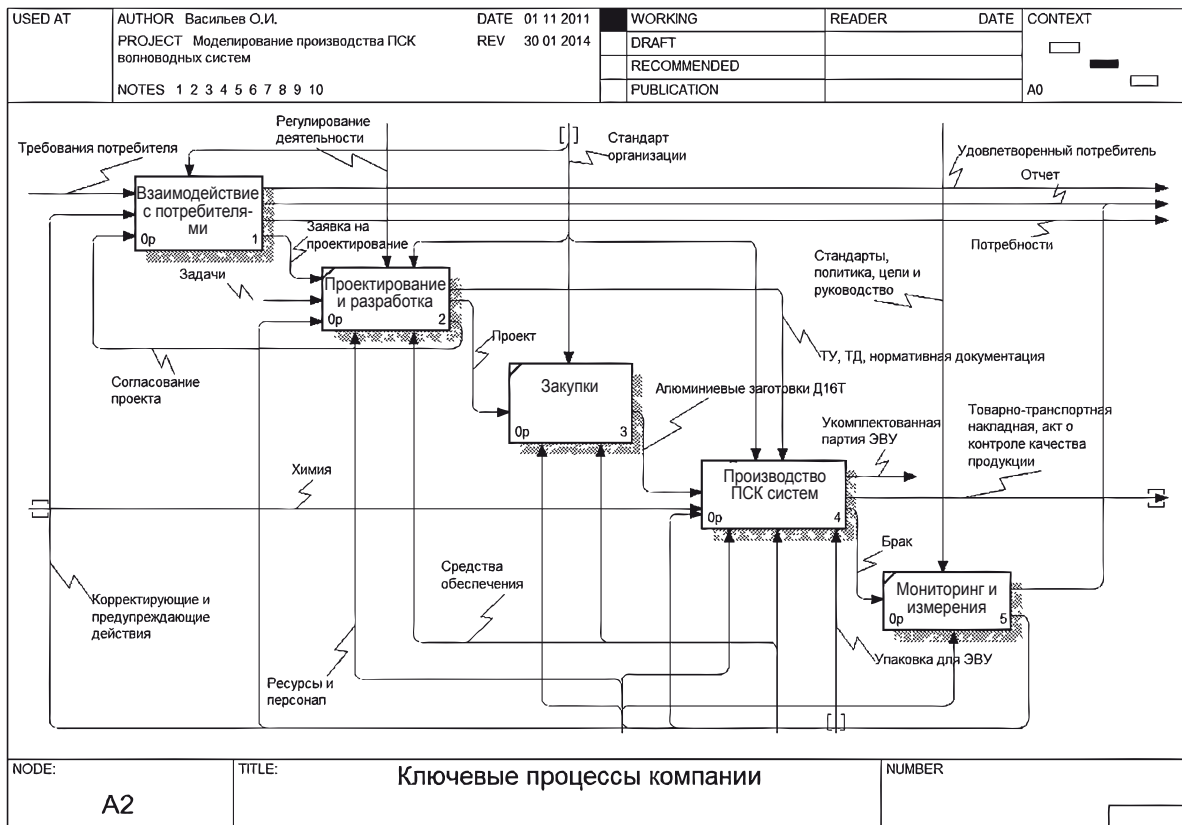
новной технологии, результатом его деятельности являются научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки, заявки на патенты и как следствие — патенты на изобретения, полезные модели или промышленные образцы. Аналитическая лаборатория и экспериментальный участок тесно взаимодействуют с опытным производством в целях внедрения в производство новых технологий, увеличивающих его эффективность и результативность. Эти процессы были также смоделированы, и все взаимодействия документированы. В результате моделирования выявлены наиболее узкие места технологического процесса. Кроме того, группа аналитиков исходила из принципа исключения деятельности, не добавляющей ценности, т. е. были устранены дублирующие процессы и объединены параллельные. Модель декомпозиции ключевых процессов предприятия (рис. 2) состоит из процессов взаимодействия с потребителями, проектирования и разработки, закупок, непосредственно процессов производства ПСК волноводных систем, а также мониторинга, измерения и анализа.

Аналитической лабораторией был испытан и получил положительные результаты метод тензоимпульсной резонансной регуляции, позволивший улучшить ряд качественных показателей конечного продукта [7].

Процесс осаждения металла на модели является одним из наиболее сложных, имеющих ряд отрицательных свойств, таких как низкая рассеивающая способность и низкий выход по току, следствием чего является насыщение водородом металла и большая длительность процесса.

Основная часть заряда при электроосаждении металла расходуется на восстановление водорода, и в производственных условиях выход по току металла в сернокислых электролитах составляет 11—17 %, а во фторсиликатных может достигать 25—30 % [8]. Учитывая то, что покрытия, получаемые во всех известных электролитах, неоднородны по причинам малой рассеивающей способности и, что более существенно, непрерывного и неконтролируемого изменения концентрации электролита в гальванической ванне, к литературным данным о выходе металла по току следует относиться как к ориентировочным, поскольку при расчете плотности тока используется параметр габаритной площади поверхности, который не учитывает ее фрактального характера.

Генератор импульсов электрического тока полной мощностью 10 В позволяет получать однополярные прямоугольные импульсы тока амплитудой до 1 А в выносной петле антенне-вибраторе, что создает в скин-слое проводника, который опущен в раствор для меднения, среднее акустиче-



■ **Рис. 2.** Модель декомпозиции ключевых процессов предприятия

ское давление ~150 Па [9]. Генератор позволяет получать импульсы тока частотой следования от 30 до 3000 кГц, а также контролировать частоту генерации сигналов, которую можно изменять с помощью дискретных и непрерывных регуляторов.

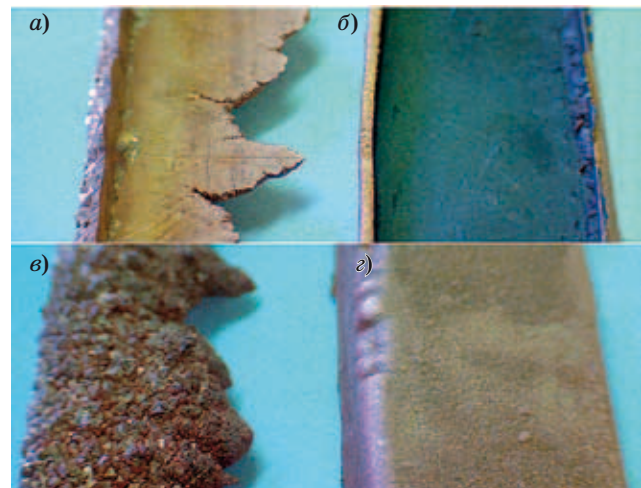
В результате применения метода тензиимпульсной регуляции и при практически равных условиях протекания процесса осаждения металла на модели выявлено:

- увеличение скорости осаждения в 1,5 раза;
- снижение образования дендрита на 48 %;
- увеличение сплошности кристаллической решетки в 9 раз.

Структура изделия до и после применения тензиимпульсного воздействия показана на рис. 3 [10].

Заключение

Проведенные авторами статьи исследования в области организации управления процессами производства ПСК, построение моделей данных процессов, их анализ и оптимизация помогли грамотно произвести реинжиниринг технологических процессов на предприятии государственной корпорации «Ростехнологии», концерна «Радиоэлектронные технологии» ОАО «Технологическое оснащение». Были созданы маршрутные карты для типовых технологи-



■ **Рис. 3.** Структура осадка меди до (а, в) и после (б, г) применения тензиимпульсной регуляции с использованием генератора источника тока

ческих процессов, а также разработаны документированные процедуры в стандарте организации. Это привело к повышению качества конечного продукта и эффективности взаимодействия процессов, сокращению издержек и сроков на разработку и поставку ПСК волноводных систем, о чем

свидетельствуют данные финансовой отчетности и результаты аудита системы менеджмента качества. Исследования также доказали значимость использования современных информационных методов и средств моделирования. Есть все основания полагать, что совершенствование научных и методологических принципов организации и управления производством ПСК на основе разработки моделей и процедур информатизации, мониторинга, плани-

рования и оценки устойчивости производственных процессов позволит этой технологии занять достойное место в решении задач развития электронной и радиоэлектронной промышленности, а также в российском аэрокосмическом приборостроении.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства Санкт-Петербурга для студентов, аспирантов, молодых ученых, молодых кандидатов наук 2012 года, серия ПСП № 12044.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 9001-2008. Система менеджмента качества. Требования. <http://www.ccin.ru/SDSert/GOST9001-2008.pdf> (дата обращения: 15.11.2013).
2. ГОСТ Р ИСО 14001-2007. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению. http://www.pqm-online.com/assets/files/standards/gost_r_iso_14001-2007.pdf (дата обращения: 15.11.2013).
3. Туккель И. Л., Голубев С. А., Сурина А. В., Цветкова Н. А. Методы и инструменты управления инновационным развитием промышленных предприятий. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 208 с.
4. Попов В. Н. Системный анализ в менеджменте. – М.: КноРус, 2010. – 304 с.
5. Васильев О. И., Семенова Е. Г. Инновации управления качеством инфраструктуры // Формирование современного общества – проблемы, перспективы, инновационные подходы. 2010. С. 99–104.
6. ГОСТ РВ 15002. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Система менеджмента качества. Общие требования. http://www.astronomikon.ru/config/gost/gost_11.pdf (дата обращения: 15.11.2013).
7. Васильев О. И., Семенова Е. Г. Обеспечение качества процессов изготовления прецизионных сложнопрофильных конструкций волноводных систем // Вопросы радиоэлектроники. 2011. № 5. С. 103–111.
8. Слодкова Л. Н., Кудрявцев В. Н. Электролитическое хромирование. – М.: Глобус, 2007. – 191 с.
9. Колесников А. А. Фоновая акустическая регуляция физико-химических процессов в конденсированных системах: автореф. дис. ... д-ра хим. наук. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009. – 40 с.
10. Васильев О. И., Васильев И. А. Инновационный эффект применения тензоимпульсной регуляции в процессах изготовления прецизионных сложнопрофильных конструкций // Научная сессия ГУАП. 2012. Т. 1. С. 146–148.

UDC 658.511

Systems Approach to the Analysis of Production Processes of Precision Figurine Structures

Semenova E. G.^a, Dr. Sc., Tech., Professor, egsemenova@mail.ru

Vasilyev O. I.^a, Post-Graduate Student, innfri@gmail.com

^a Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentations, 67, B. Morskaya St., 190000, Saint-Petersburg, Russian Federation

Purpose: Lack of sufficient facility base, lack of qualified personnel, high requirements to the quality of implementation of internal surfaces and geometric precision contours of figurine structures highlight the need to update scientific and methodological principles of organization and management of production based on development of models and procedures for informatization, monitoring, planning and evaluation of sustainability of production processes. **Results:** There have been developed functional models of production activities in IDEF0 notation based on the international quality standards. There have been conducted the analysis and optimization of technological processes and organizational structure, as a result, there have been improved qualitative characteristics of a final product such as density of precipitate, no dendrite formation, etc. **Practical relevance:** Due to reengineering of processes interaction of an analytical laboratory and pilot production has been set up. There has been tested and received positive results the method of exposure of background acoustic resonance of self-regulation processes which is also known as tensoimpulse resonant regulation, it allowed to increase deposition rate, density and uniformity of crystal lattice structure, to achieve no dendrite formation.

Keywords — System Analysis, Production, Waveguides, Electronic Equipment, Process Approach, IDEF0, BPwin, Functional Simulation, Precision Figurine Structures, Electroplating, Electrochemical Formation, Technology.

References

1. State Standard R ISO 9001-2008. Quality Management System. Requirement (IDT). Available at: <http://www.ccin.ru/SDSert/GOST9001-2008.pdf> (accessed 15 November 2013).
2. State Standard R ISO 14001-2007. Environmental Management Systems. Requirements with guidance for use (IDT). Available at: http://www.pqm-online.com/assets/files/standards/gost_r_iso_14001-2007.pdf (accessed 15 November 2013).
3. Tukkeli I. L., Golubev S. A., Surin A. V., Tsvetkova N. A. *Metody i instrumenty upravleniya innovatsionnykh razvitiem promyshlennykh predpriyatii* [Methods and Tools of Innovation Development of Industrial Enterprises]. Saint-Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2013. 208 p. (In Russian).

4. Popov V. N. *Sistemnyi analiz v menedzhmente* [System Analysis in Management]. Moscow, KnoRus Publ., 2010. 304 p. (In Russian).
5. Vasiliev O. I., Semenova E. G. Innovation Quality Facility Management. *Trudy Mezhdunarodnoi konferentsii "Formirovanie sovremennogo obshchestva – problemy, perspektivy, innovatsionnye podkhody"* [Proc. Int. Conf. "The Formation of Contemporary Society – Problems, Perspectives, Innovation Approaches"]. Saint-Petersburg, 2010, pp. 99–104.
6. State Standard RV 15.002. System of Product Development and Launching into Manufacture. Military Equipment. The Quality Management System. General Requirements. Available at: http://www.astronikon.ru/config/gost/gost_11.pdf (accessed 15 November 2013).
7. Vasiliev O. I., Semenova E. G. Quality Assurance Processes of Precision Figurine Designs of Waveguide Systems. *Voprosy radioelektroniki*, 2011, no. 5, pp. 103–111 (In Russian).
8. Solodkova L. N., Kudryavtsev V. N. *Elektroliticheskoe khromirovanie* [Electrochemical Plating]. Moscow, Globus Publ., 2007. 191 p. (In Russian).
9. Kolesnikov A. A. *Fonovaia akusticheskaiia reguliatsiia fiziko-khimicheskikh protsessov v kondensirovannykh sistemakh*. Dis. dokt. him. nauk [Background Acoustic Regulation of Physical and Chemical Processes in Condensed Systems. Dr. chem. sci. diss.]. Saint-Petersburg, 2009. 40 p. (In Russian).
10. Vasiliev O. I., Vasiliev I. A. Innovative Effect of Acoustic Resonance Regulation in Manufacturing Processes of Precision Figurine Designs. *Nauchnaia sessiia GUAP*, 2012, vol. 1, pp. 146–148 (In Russian).

Уважаемые подписчики!

Полнотекстовые версии журнала за 2002–2013 гг. в свободном доступе на сайтах журнала (<http://i-us.ru>), Киберленкинки (<http://cyberleninka.ru>) и НЭБ (<http://elibrary.ru>). Печатную версию архивных выпусков журнала за 2003–2013 гг. Вы можете заказать в редакции по льготной цене.

Журнал «Информационно-управляющие системы» выходит каждые два месяца. Стоимость годовой подписки (6 номеров) для подписчиков России — 4200 рублей, для подписчиков стран СНГ — 4800 рублей, включая НДС 18 %, почтовые и таможенные расходы.

На электронную версию нашего журнала (все выпуски, годовая подписка, один выпуск, одна статья) вы можете подписаться на сайте НЭБ (<http://elibrary.ru>).

Подписку на печатную версию журнала можно оформить в любом отделении связи по каталогу:

«Роспечать»: № 48060 — годовой индекс, № 15385 — полугодовой индекс,

а также через посредство подписных агентств:

«Северо-Западное агентство „Прессинформ“»

Санкт-Петербург, тел.: (812) 335-97-51, 337-23-05, эл. почта: press@crp.spb.ru, zajavka@crp.spb.ru,

сайт: <http://www.pinform.spb.ru>

«МК-Периодика» (РФ + 90 стран)

Москва, тел.: (495) 681-91-37, 681-87-47, эл. почта: export@periodicals.ru, сайт: <http://www.periodicals.ru>

«Информнаука» (РФ + ближнее и дальнее зарубежье)

Москва, тел.: (495) 787-38-73, эл. почта: Alfimov@viniti.ru, сайт: <http://www.informnauka.com>

«Гал»

Москва, тел.: (495) 603-27-28, 603-27-33, 603-27-34, сайт: <http://www.artos-gal.mpi.ru/index.html>

Краснодар, тел.: (861) 210-90-00, 210-90-01, 210-90-55, 210-90-56, эл. почта: krasnodar@interpochta.ru

Новороссийск, тел.: (8617) 670-474

«Деловая пресса»

Москва, тел.: (495) 962-11-11, эл. почта: podpiska@delpress.ru, сайт: <http://delpress.ru/contacts.html>

«Коммерсант-Курьер»

Казань, тел.: (843) 291-09-99, 291-09-47, эл. почта: kazan@komcur.ru, сайт: <http://www.komcur.ru/contacts/kazan/>

«Урал-Пресс» (филиалы в 40 городах РФ)

Сайт: <http://www.ural-press.ru>

«Идея» (Украина)

Сайт: <http://idea.com.ua>

«BTL» (Узбекистан)

Сайт: <http://btl.sk.uz/ru/cat17.html>

и др.