

Министерство обороны Российской Федерации
Министерство промышленности и энергетики Саратовской области
ОАО «Тантал», ОАО «НИИ-Тантал»
Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского

Решением Президиума ВАК Министерства образования и науки РФ издание включено в Перечень ведущих рецензируемых изданий, в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

Гетеромагнитная микроэлектроника

Сборник научных трудов

ВЫПУСК 10

**Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника.
Прикладные аспекты. Экономика.
Методические аспекты физического образования**

Под редакцией профессора *А. В. Ляшенко*

Саратов
Издательство Саратовского университета
2011

УДК 621.382.029.6
ББК 548.537.611.44
Г44

Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. / под ред.
Г44 проф. А. В. Ляшенко. – Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2011. –
Вып. 10 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Прикладные
аспекты. Экономика. Методические аспекты физического образова-
ния. – 148 с. : ил.

В сборнике представлены материалы исследований по гетеромагнитной микро-
электронике и прикладным аспектам – лазерному манипулятору, зондовой микроско-
пии, устройствам защиты информации, управлению качеством образования, новому на-
правлению «Экономика в промышленности».

Для специалистов-разработчиков, экспертов, а также аспирантов и студентов.

Редакционная коллегия :

А. А. Игнатьев, д-р физ.-мат. наук, проф. (отв. редактор); *М. Н. Куликов*, канд. физ.-мат. наук, проф. (зам. отв. редактора); *Л. Л. Страхова*, канд. физ.-мат. наук, доц. (отв. секретарь); *В. И. Борисов*, д-р техн. наук, член-корр. РАН; *С. Ю. Глазьев*, д-р экон. наук, акад. РАН; *О. Ю. Гордашникова*, д-р экон. наук, проф.; *Ю. В. Гуляев*, д-р физ.-мат. наук, акад. РАН; *Ю. А. Матвеев*, д-р физ.-мат. наук; *Е. А. Мокров*, д-р техн. наук, проф.; *О. А. Мызрова*, канд. экон. наук, доц.; *Е. А. Наумов*, канд. экон. наук, проф.; *С. А. Никитов*, д-р физ.-мат. наук, проф., член-корр. РАН; *А. А. Солопов*, канд. экон. наук; *С. П. Кудрявцева*, канд. техн. наук, доц.; *С. В. Овчинников*, канд. физ.-мат. наук, доц.; *Л. С. Сотов*, канд. физ.-мат. наук, доц.; *А. Л. Хвалин*, канд. техн. наук, доц.; *А. С. Краснощекова*, инженер КБ КТ ОАО «НИИ-Тантал».

УДК 621.382.029.6
ББК 548.537.611.44

ПРЕДИСЛОВИЕ

В десятый выпуск сборника включены материалы по прикладным проблемам гетеромагнитной микроэлектроники, магнитной дефектоскопии, феррорезонансным датчикам вибрации, новым магнитным сплавам и методикам измерений стандартных образцов наноструктурных магнитных материалов.

В сборнике нашли отражение :

- голографический лазерный манипулятор;
- сканирующая зондовая микроскопия с высоким разрешением;
- метод сбора данных в голографии;
- методы синтеза устройств, выполняющих инструкции перестановки битов данных.

В методическом разделе представлена статья по управлению качеством образования в России, США и странах Европы.

Начиная с этого номера в сборнике вводится новое направление «Экономика в промышленности», что потребовало изменения состава редакционной коллегии авторитетных специалистов : директора института новой экономики Государственного университета управления академика РАН, доктора экономических наук С. Ю. Глазьева; профессора, доктора экономических наук О. Ю. Гордашникову; доцента, кандидата экономических наук О. А. Мызрову. Статьи в экономическом разделе посвящены анализу развития НИОКР в ОПК и факторов, влияющих на инновационную активность предприятий, особенностям реализации промышленной политики на предприятиях нанотехнологических производств, проблемам адаптации системы высшего профессионального образования в инновационной экономике.

Ответственный редактор профессор,
доктор физико-математических наук
А. А. Игнатьев

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 53.082.78

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕТЕРОМАГНИТНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ОБЪЕКТОВ ЗА НЕМАГНИТНЫМИ ПРЕГРАДАМИ

А. А. Игнатьев, М. Н. Куликов, А. А. Масленникова, А. В. Прозоркевич

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail : IgnatievAA@info.sgu.ru

Приводятся результаты экспериментального исследования характеристик магнитного градиентометра, состоящего из двух гетеромагнитных датчиков как части системы определения всех девяти компонент матрицы производных магнитного поля и обнаружения ферромагнитных тел за непрозрачными преградами.

Ключевые слова : магнитный градиентометр, матрица производных магнитного поля, обнаружение ферромагнитных тел.

Geteromagnetic Sensors Application for Detection and Localization of Ferromagnetic Objects for non-Magnetic Barriers

A. A. Ignatiev, M. N. Kulikov, A. A. Maslennikova, A. V. Prozorkevich

An experimental study of the characteristics of a magnetic gradiometer consisting of two geteromagnetic sensors as part of the system for the definitions of all components of the derivatives matrix of the magnetic field and detection of ferromagnetic bodies for opaque barriers.

Key words : magnetic gradientometer, matrix of magnetic field derivatives, detection of ferromagnetic bodies.

Поиск и локализация (т.е. определение координат, формы и размера) скрытых магнитных объектов являются важной технической задачей, для решения которой предложено много различных методов и технических устройств на их основе [1]. Особый интерес представляет магнитометрический метод, основанный на обнаружении и измерении аномалии магнитного поля Земли вблизи любого ферромагнитного объекта. Технические устройства, использующие магнитометрический метод, успешно применяются для поиска подводных лодок в океане [2], неразорвавшихся мин и снарядов под землей [3], трубопроводов, арматуры в железобетонных стенах [4] и т.д. Достоинство магнитометрического метода заключается в том, что по отношению к обнаруживаемому объекту он является пассивным, т.е. не воздействует на объект никакими сигналами и тем самым не обнаруживает себя.

Для выделения слабого сигнала магнитной аномалии на фоне много-

численных внешних магнитных полей чаще всего используется градиентометрический метод, основанный на вычитании показаний двух магнитометров, разнесенных в пространстве на некоторое расстояние друг от друга, называемое базой градиентометра. Градиентометр «не замечает» слабоградиентные поля помех, но регистрирует большие градиенты полей вблизи ферромагнитных тел.

В [5] описаны гетеромагнитные датчики, разработанные в СГУ совместно с ОАО «НИИ-Тантал» и позволяющие регистрировать малые изменения магнитного поля Земли. В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования градиентометра, использующего гетеромагнитные датчики магнитного поля, и рассматриваются перспективы построения на этой базе градиентометрических систем.

Простейшей теоретической моделью ферромагнитного тела во внешнем магнитном поле является магнитный диполь или набор диполей. В случае одного магнитного диполя индукция (в единицах СИ) определяется выражением

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{3(\mathbf{p} \cdot \mathbf{r})}{r^5} \mathbf{r} - \frac{\mathbf{p}}{r^3} \right), \quad (1)$$

где \mathbf{p} – магнитный момент диполя; \mathbf{r} – вектор, соединяющий точку наблюдения и диполь; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная.

Для экспериментальной проверки возможности использования гетеромагнитных датчиков в градиентометре была собрана система из двух одноосных датчиков, измерительные оси которых параллельны и разнесены на расстояние $a = 5$ см, а магниточувствительные элементы лежат в одной плоскости, перпендикулярной измерительным осям (рис. 1).

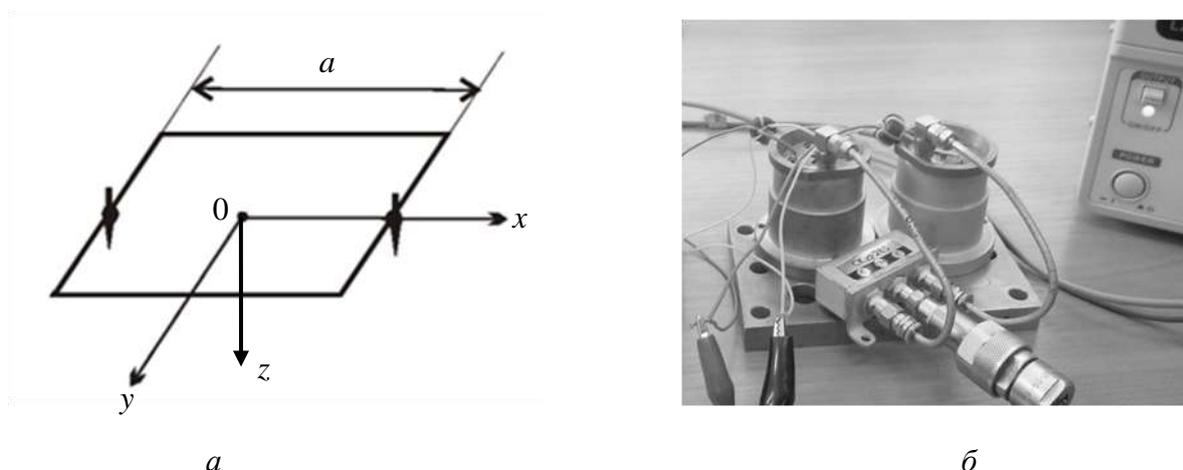


Рис. 1. Градиентометр с двумя гетеромагнитными датчиками : *а* – схематическое изображение расположения датчиков (жирные точки) градиентометра, их измерительных осей (жирные стрелки) и используемой системы координат; *б* – внешний вид

При измерении аномалий магнитного поля с использованием градиентометра вместо точного значения производной получается ее среднее значение на интервале $(-a/2, a/2)$, т.е. центральная разностная производная в терминах сеточных функций. Результаты расчета относительной ошибки (погрешности) такой замены представлены на рис. 2. Видно, что для случаев $(d/a) > 10$ ошибка δ не превышает 1%.

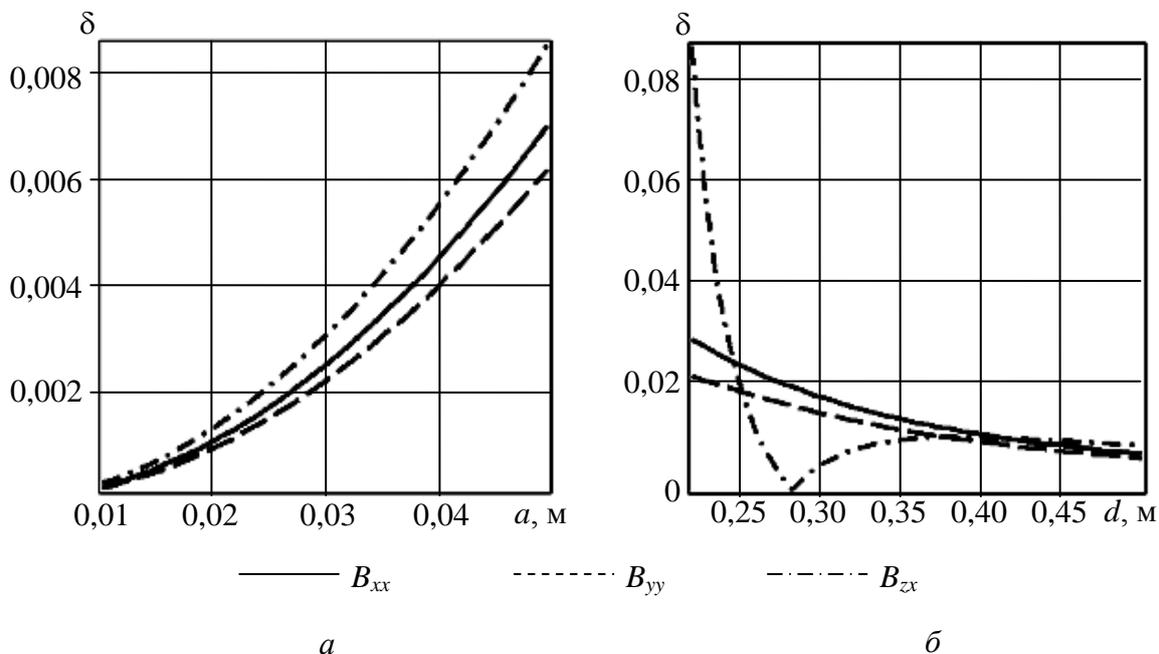


Рис. 2. Относительные ошибки δ определения производных B_{xx} , B_{yy} , B_{zx} за счет усреднения (момент диполя $\mathbf{p} = 0,1 \text{ A} \cdot \text{m}^2$): а – зависимость δ от базы a при положении диполя в точке $(0,05; 0,05; 0,5)$; б – зависимость δ от расстояния d по оси z до диполя при базе $a = 0,05$ м

В качестве измеряемого объекта при исследовании возможностей гетеромагнитного магнитометра использовалась калибровочная катушка диаметром 3,6 см, содержащая $N = 20$ витков провода диаметром 0,5 мм и создающая магнитный момент $0,02 \text{ A} \cdot \text{m}^2$ при токе $I = 1 \text{ A}$. Катушка могла ориентироваться и перемещаться в пространстве по трем взаимно-перпендикулярным направлениям относительно градиентометра.

Результаты измерения компоненты градиента

$$B_{zx} = \frac{\partial B_z}{\partial x}$$

при двух ориентациях магнитного момента в зависимости от смещения катушки вдоль оси x и соответствующие расчетные кривые представлены на рис. 3.

Экспериментальные результаты определения разрешающей способности градиентометра при измерении магнитных полей, создаваемых двумя разнесенными в пространстве одинаковыми катушками, т.е. двумя дипольными моментами, представлены на рис. 4.

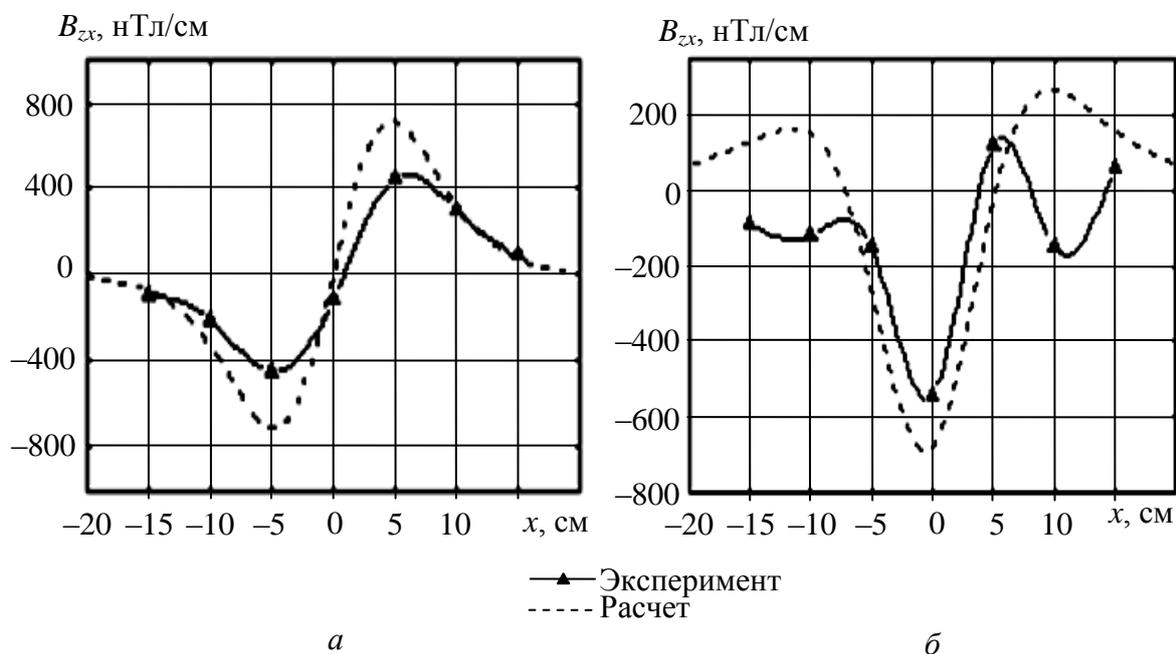


Рис. 3. Экспериментальные и расчетные зависимости компоненты градиента B_{zx} как функции смещения катушки вдоль оси x при двух ее ориентациях : $a - \mathbf{p} \parallel \mathbf{z}$; $b - \mathbf{p} \parallel \mathbf{x}$

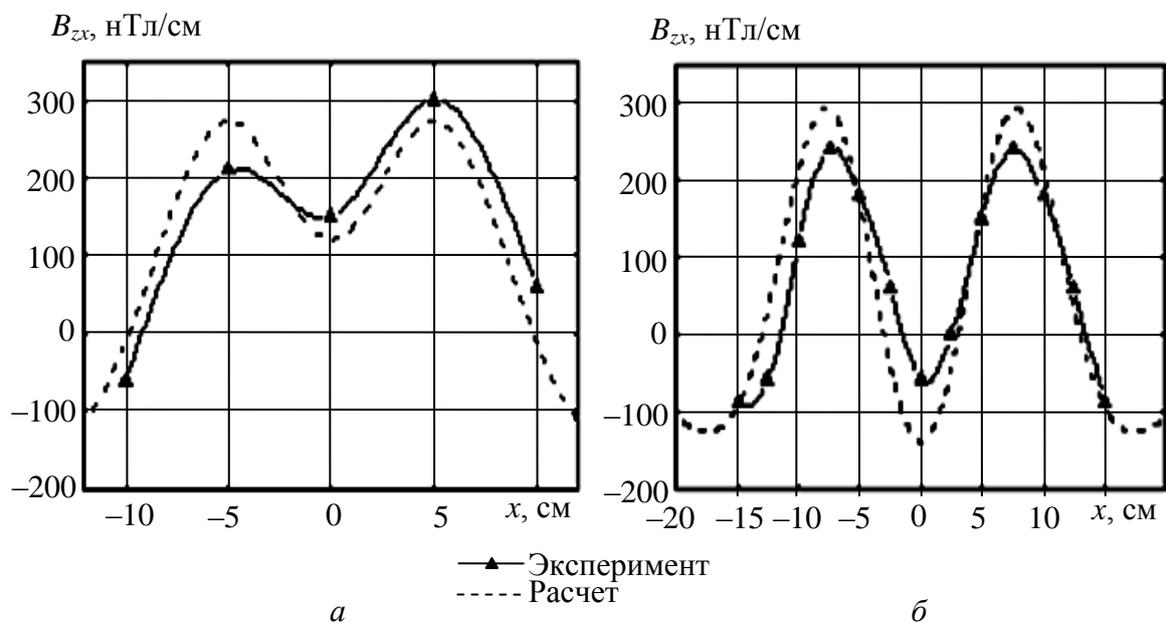


Рис. 4. Экспериментальные и расчетные зависимости компоненты градиента B_{zx} для двух диполей как функции смещения их центра вдоль оси x для двух расстояний между диполями : $a - 10$ см; $b - 15$ см

Приведенные на рис. 3 и 4 результаты показывают достаточную точность измерений и возможность практического использования гетеромагнитного градиентометра с базой, не превышающей двух расстояний между диполями и до диполей.

Локализация (т.е. определение координат, формы и размеров) скрытых магнитных объектов представляет собой обратную задачу магнитостатики. Решению этой задачи посвящено большое количество работ, наиболее известными из которых являются [6–10]. В них было показано, что в отличие от прямой обратная задача – восстановление значений намагниченности (или распределения магнитной проницаемости) образца по известному результирующему полю вне его – в общем случае не имеет единственного решения.

По измерениям магнитного поля вне тела нельзя заранее сказать, создается ли оно телом, имеющим единственное решение обратной задачи, или телом, имеющим варианты решения. Такой вывод можно сделать с той или иной степенью вероятности только по результатам проведенного расчета. Вероятностный характер суждений о результатах решения обратной задачи обусловлен, конечно, наличием случайных и систематических погрешностей измерений и вычислений, которые приводят к неустойчивости решения обратной задачи, когда небольшое изменение исходных данных может привести к большому изменению результатов расчета. Для борьбы с этой неустойчивостью предлагается вносить в алгоритм расчетов как можно больше дополнительной априорной информации об объекте исследования («регуляризация» решения обратной задачи в смысле А. Н. Тихонова). Используется также методика обработки данных, включающая повторные пересчеты при нескольких различных расчетных сетках и нескольких наборах других исходных параметров. Если все повторные расчеты дают близкие по заданному критерию результаты, то найденное решение считается однозначным и устойчивым (по заданному критерию). Если же результаты существенно различаются, то приходится вводить в алгоритм дополнительную информацию об объекте исследования, либо менять критерий и алгоритм решения задачи, либо, наконец, признать, что задача принципиально не имеет однозначного решения в данных условиях эксперимента. В последнем случае можно изменить условия эксперимента, чтобы сделать обратную задачу однозначной.

Обозначим элементы матрицы производных :

$$B_{ij} = \frac{\partial B_i}{\partial x_j}, \quad i, j = x, y, z . \quad (2)$$

Эта матрица симметрична и имеет нулевой след согласно уравнениям Максвелла :

$$\text{rot}\mathbf{B} = 0, \text{ div}\mathbf{B} = 0, \quad (3)$$

так что содержит всего пять независимых элементов. Для локализации источника поля градиентным методом даже в случае одного магнитного диполя (6 неизвестных параметров) измерения в одной точке недостаточно. Число уравнений должно быть больше числа неизвестных, чтобы можно было выделить нужный корень системы нелинейных уравнений. Поэтому, измеряя производные как минимум в двух точках, получаем с учетом (1) систему нелинейных уравнений вида

$$B_{ij} = \frac{3\mu_0}{4\pi r^5} \left[p_i r_j + p_j r_i + (p_k r_k) (\delta_{ij} - 5r_i r_j r^{-2}) \right] \quad (4)$$

относительно неизвестных p_i и r_i при заданных (измеренных) B_{ij} (δ_{ij} – символ Кронеккера). Величины p_i входят в уравнения линейно, поэтому их можно исключить аналитически. Для этого выполним свертки B_{ij} с вектором \mathbf{r}_i (по повторяющимся индексам подразумевается суммирование) :

$$B_{ij} r_i r_j = -\frac{3\mu_0}{2\pi r^3} (p_k r_k), \quad (5)$$

$$B_{ij} r_j = \frac{3\mu_0}{4\pi r^5} \left[p_i r^2 - 3(p_k r_k) r_i \right]. \quad (6)$$

Исключая из (5) и (6) скалярное произведение $p_k r_k$, получаем выражение для компонент магнитного момента диполя

$$p_i = \frac{2\pi r}{\mu_0} \left[\frac{2}{3} r^2 \delta_{ik} - r_i r_k \right] B_{kn} r_n. \quad (7)$$

Подставляя это выражение в формулу (4), получаем замкнутые уравнения для координат диполя, создающего известные градиенты B_{ij} в фиксированных точках пространства :

$$B_{ij} = e_i e_n B_{jn} + e_j e_n B_{in} - \frac{1}{2} (B_{kn} e_k e_n) (\delta_{ij} + e_i e_j), \quad (8)$$

где e_k – проекции вектора \mathbf{r} на координатные оси.

Экспериментально определить все компоненты матрицы производных можно, например, с использованием двенадцати одноосных датчиков, расположенных так, как показано на рис. 5.

Система позволяет непосредственно измерить пять элементов матрицы, отнесенных к точке пересечения диагоналей куба (точка 0). Остальные компоненты вычисляются с помощью уравнений Максвелла (3). В более простом варианте такую систему можно выполнить и в плоском виде, расположив десять одноосных датчиков в вершинах и на серединах сторон шестиугольника, как показано на рис. 6. Однако при этом интервал усреднения будет неодинаков для разных производных.

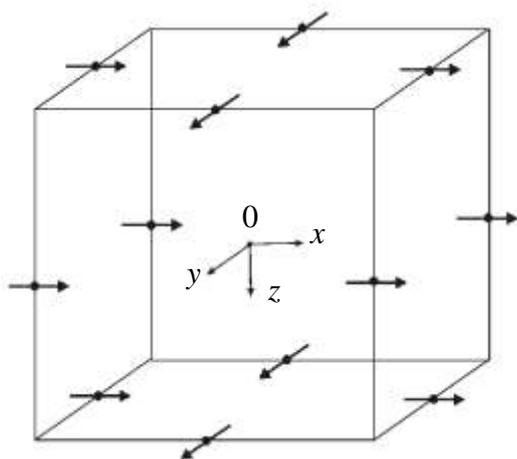


Рис. 5. Схема расположения 12 одноосных датчиков, обеспечивающих измерение средних значений матрицы производных

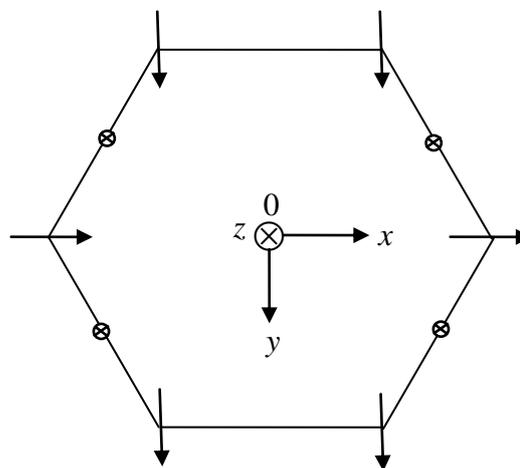


Рис. 6. Плоский вариант схемы с 10 одноосными датчиками

Корректное решение обратной задачи магнитостатики возможно лишь тогда, когда известны компоненты матрицы производных в как можно большем числе точек пространства (плоскости), в которых модули градиента заметно (в два-три раза) превышают уровень помех. Для этого необходимо иметь достаточно большую матрицу из элементарных измерительных ячеек либо систему перемещения ячеек по обследуемой поверхности. В том случае, когда достаточно обнаружения точки поверхности, под которой находится ферромагнитный объект, оценка глубины залегания и порядок величины его магнитного момента, можно использовать в измерительной ячейке меньшее число датчиков. Так, в промышленных установках поиска неразорвавшихся мин и снарядов обычно используются два градиентометра, состоящих из двух магнитометров каждый, т.е. всего четыре устройства [11].

В заключение проведем сравнение градиентометра и обычного магнитометра по параметру дальности обнаружения равномерно намагниченной до характерного значения $M = 10^4 \text{ А} \cdot \text{м}^2$ ферромагнитной сферы радиуса R . В дипольном приближении фиксируем чувствительности градиентометра на уровне $\Delta_g = 100 \text{ нТл/см}$ и магнетометра на уровне $\Delta_m = 100 \text{ нТл}$ для продольной компоненты магнитного поля вдоль оси диполя. Результаты сравнения представлены на рис. 7, откуда видно, что при выбранных параметрах градиентометр становится предпочтительнее по выбранному параметру для объектов радиусом менее 1 мм.

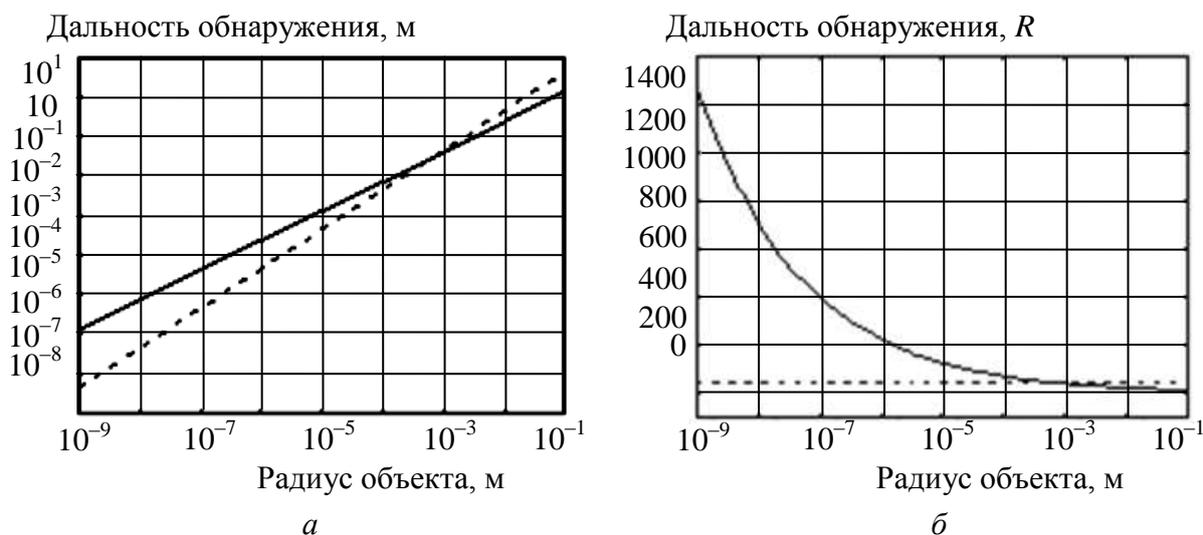


Рис. 7. Дальность обнаружения магнитометром (пунктир) и градиентометром (сплошная линия) намагниченной сферы : a – в обычных единицах, \bar{a} – в единицах радиуса сферы

Точка пересечения кривых на рис. 7 определяется равенством

$$R_c = \frac{(3\Delta_m)^{4/3}}{(2\mu_0 M)^{1/3} \Delta_g} \cdot \quad (9)$$

Эта оценка соответствует «идеальному» градиентометру (при $a \rightarrow 0$), для реальных градиентометров поправка незначительна (см. рис. 2) при достаточном удалении датчиков от источника поля.

Изложенные в статье экспериментальные результаты носят предварительный характер и будут уточняться по мере совершенствования элементной базы устройства : предполагается замена датчиков, собранных на дискретных элементах, системой на кристалле. Такая замена позволит существенно повысить разрешающую способность градиентометра при исследовании субмикронных объектов и точность измерения производных поля, а также измерять параметры магнитного поля в различных точках одновременно. Это даст возможность исключить влияние импульсных помех и повысить надежность решения обратной задачи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семешевский Р. Б., Аверкиев В. В., Яроцкий В. А. Специальная магнитометрия. СПб. : Наука, 2002. 228 с.
2. Stefanik T. The Nonacoustic Detection of Submarines // Scientific American. March 1988. P. 25.
3. Czipott P. V., Iwanowski M. D. Magnetic sensor technology for detecting mines, UXO, and other concealed security threats // Proc. SPIE. 1997. T. 2933. C. 67–76.
4. Gaydecki P. A., Burdekin F. M. An inductive scanning system for two-dimensional imaging of reinforcing components in concrete structures // Meas. Sci. Technol. 1994. Vol. 5. P. 1272–1280.

5. *Игнатьев А. А., Куликов М. Н., Норов Ю. В., Сотов Л. С., Тугушов Д. В.* Экспериментальное исследование векторного магнитоэлектронного магнитометра // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов, 2005. Вып. 2 : Методы пректирования магнитоэлектронных устройств. С. 97–109.

6. *Дякин В. В.* Прямая и обратная задача магнитостатики // Дефектоскопия. 1996. № 3. С. 3–7.

7. *Pechenkov A. N., Shcherbinin V. E.* Software for solving inverse magnetostatic problem with a view to calculating flaw parameters // Russian J. of Nondestructive Testing. 2001. Т. 37, № 6. С. 422–425.

8. *Печенков А. Н., Щербинин В. Е.* Некоторые прямые и обратные задачи технической магнитостатики. Екатеринбург : УрО РАН, 2004. 177 с.

9. *Печенков А. Н.* О влиянии формы тела на единственность решения обратной задачи магнитостатической дефектоскопии // Дефектоскопия. 2006. № 10. С. 24–26.

10. *Жирков В. Ф., Новиков К. В., Сушкова Л. Т.* Решение обратной задачи магнитостатики методом регуляризации Тихонова // Цифровая обработка данных и её применение : докл. 7-й Междунар. конф. СПб., 2005. Т. 1. 72 с.

11. *Звездинский С. С., Парфенцев И. В.* Метод магнитометрического обнаружения взрывоопасных предметов // Спецтехника и связь. 2008. № 2. С. 1–11.

УДК 621.372

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ ЛАЗЕРНЫЙ МИКРОМАНИПУЛЯТОР НА ОСНОВЕ БЕССЕЛЕВЫХ ПУЧКОВ

В. Б. Байбурин, Ю. П. Волков, С. Д. Спицин, А. В. Ляшенко*

Саратовский государственный технический университет
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77
E-mail : baiburinvb@rambler.ru

*ОАО «НИИ-Тантал»
Россия, 410040, Саратов, пр. 50-лет Октября, 110А
E-mail : tantal@renet.ru

Представлена конструкция лазерного оптического микроманипулятора, используемого для перемещения микро- и нанометровых частиц. Разработанный микроманипулятор основан на применении фазового модулятора, создающего Бесселевы пучки для манипулирования частицами.

Ключевые слова : нанотехнология, лазерный микроманипулятор, оптика, численное моделирование.

Holographycal Optical Tweezers with Bessel Beams

V. B. Bayburin, Yu. P. Volkov, S. D. Spitsin, A. V. Ljashenko

In this article presented a new construction of laser tweezers used for manipulation of micro- and nanometer particles. The tweezers is based on spatial phase light modulator which forming Bessel beams for particle trapping.

Key words : nanotechnology, laser tweezers, optics, numerical modeling.

Развитие нанотехнологических и микробиологических методов требует использования новых приборов для манипулирования с отдельными нано- и микрометровыми объектами (захват, перемещение в пространстве, сборка структур с заданным расположением объектов и др.). Весьма перспективным методом является бесконтактный захват и перемещение объектов с помощью оптического лазерного микроманипулятора. В данном приборе остро сфокусированное излучение лазера при приближении к микрометровой частице (диэлектрической или проводящей) поляризует ее. Вследствие этого частица начинает взаимодействовать с электромагнитным полем лазерного излучения и стремится попасть в зону с максимальной интенсивностью света (захват частицы), после чего возможно ее перемещение в заданное положение с помощью фокального пятна лазерного излучения.

В настоящее время лазерные микроманипуляторы выпускаются рядом зарубежных фирм (*Karl Zeiss, Elliot Scientific, JPK Instruments, MMI Molecular machines*) и представляют собой оптические микроскопы с дополнительными мощными лазерами и системами фокусировки излучения. Современные приборы используют сфокусированные гауссовы пучки излучения и могут управлять только одной микрочастицей. Однако для проведения современных исследований необходимы захват и одновременное управление несколькими частицами (измерение механических характеристик макромолекул и нанопроводников, сборка наноприборов, сортировка большого количества клеток и др.). Перемещение частиц осуществляется механическим смещением фокусирующего объектива относительно объекта.

Для фокусировки лазерного излучения используются объективы с большой числовой апертурой, что приводит к быстрому расхождению лазерного луча вблизи фокального пятна и резкому спаду интенсивности излучения. Для захвата частиц с помощью подобных сфокусированных гауссовых пучков необходимо точно совместить положение фокуса и частицы не только в плоскости, но и по глубине, что зачастую трудно осуществить [1].

Для упрощения захвата частиц было предложено использовать специальные оптические элементы – аксиконы (имеющие коническую форму) [2], создающие вместо точечного фокуса вытянутые в пространстве отрезки сфокусированного лазерного излучения длиной до нескольких миллиметров. С помощью аксикона возможно формирование одного вытянутого фокусного отрезка, а следовательно, и управление только одной частицей, для перемещения которой необходимо механическое перемещение оптического элемента.

В качестве аксикона возможно использование дифракционного оптического элемента (ДОЭ) [3], представляющего собой зонную пластинку или голограмму, проходя через которые свет фокусируется в заданный отрезок (рис.1). Путем расчетов и прецизионного изготовления [4] возможно создание ДОЭ с заданными оптическими характеристиками, позволяющими сфокусировать излучение в набор отрезков, точек, окружностей и других фигур [5]. Недостатком данных элементов является их статичность,

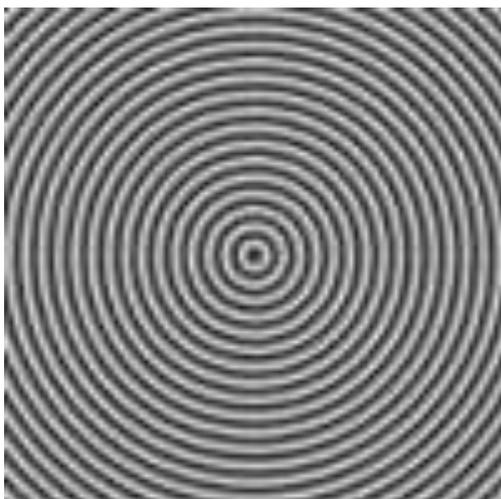


Рис. 1. Дифракционный оптический элемент, выполняющий функцию аксикона

что не позволяет динамически управлять количеством и расположением в пространстве фокальных отрезков.

В 2008 году был начат серийный выпуск фазовых модуляторов (фирма *HoloEye*, Германия) на основе жидкокристаллической матрицы высокого разрешения, позволяющей создавать ДОО с заданными параметрами и динамически изменять их характеристики. Использование фазового модулятора в оптическом микроманипуляторе делает возможным одновременное и независимое управление несколькими частицами без механического перемещения оптических элементов прибора.

Нами разработана конструкция оптического микроманипулятора на основе фазового модулятора (*Holoeye Pluto NIR* 1920×1080 пикселей размером 8 мкм каждый) и мощного инфракрасного лазера (*NIR PYL-20M*, 1064 нм, 20 Вт). Оптическая схема лазерного голографического микроманипулятора показана на рис. 2.

Нами разработана конструкция оптического микроманипулятора на основе фазового модулятора (*Holoeye Pluto NIR* 1920×1080 пикселей размером 8 мкм каждый) и мощного инфракрасного лазера (*NIR PYL-20M*, 1064 нм, 20 Вт). Оптическая схема лазерного голографического микроманипулятора показана на рис. 2.

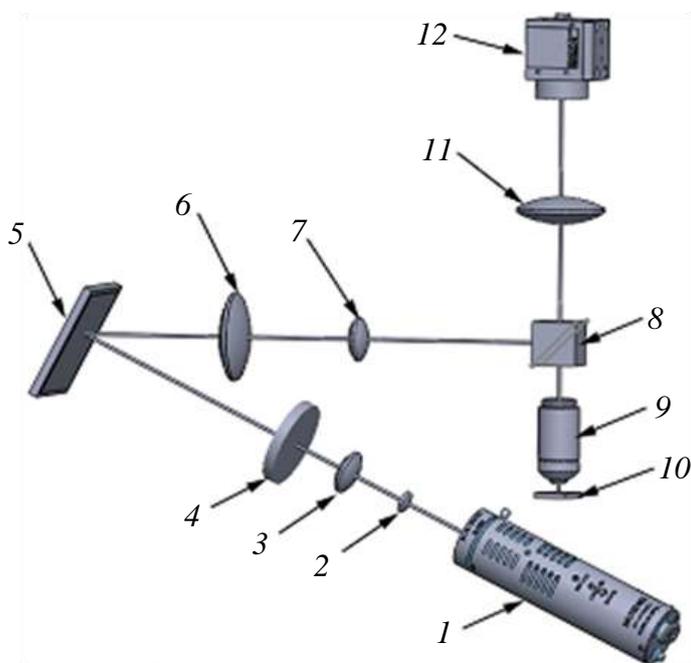


Рис. 2. Оптическая схема голографического лазерного пинцета

Луч инфракрасного (1064 нм) твердотельного лазера 1, проходя через линзы 2, 3 расширителя пучка лазерного излучения и поляризатор 4, освещает плоской волной фазовый цифровой модулятор 5, в котором с помощью компьютера сформированы голограммы аксиконов, количество и расположение которых задается оператором. Волновой фронт после отражения от фазового модулятора и прохождения линз 6, 7 (для сужения до диаметра входной апертуры объектива микроскопа 9) преобразователя ширины пучка (телескопа) вводится посредством светоделительного кубика 8 в объектив 9 (водная иммерсия 80×), пройдя через который освещает предметное стекло с объектом исследования 10. За перемещением микрочастиц наблюдают посредством цифровой оптической фотокамеры 12, в которой линзой окуляра микроскопа 11 формируется изображение.

Фазовый модулятор формирует одновременно несколько голограмм аксиконов, расположение и перемещение которых управляется с помощью компьютера. Таким образом возможны одновременный захват и перемещение нескольких микрообъектов (до 5–7), причем направление и скорость перемещения каждого объекта задаются независимо. Для изучения процесса формирования аксиконов с помощью фазового модулятора нами было проведено моделирование, которое показало, что для возникновения вытянутого в пространстве фокального отрезка (Бесселева пучка) необходимо введение дополнительного фазового сдвига в 5–10 длин волн (в противном случае формируются обычные гауссовы пучки с точечным фокусом). Использование Бесселевых пучков значительно упрощает захват частиц, для чего необходимо только подвести фокальный отрезок к частице.

Таким образом, разработанная конструкция позволяет управлять как в ручном, так и в автоматическом режиме одновременно 5–7 частицами размером до 10 мкм, причем для их перемещения не используются механически движущиеся части. Возможно также формирование оптических полей в виде регулярных структур (полос, точек), что позволяет создавать объекты из микро- и наночастиц с регулярным расположением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zwick S., Schaub C., Haist T., Osten W. Light field with an axially expanded intensity distribution for stable three-dimensional optical trapping // *Optics Express*. 2010. Vol. 18, № 19. P. 19941–19950.
2. Хонина С. Н., Волотовский С. Г. Исследование применения аксиконов в высокоапертурной фокусирующей системе // *Компьютерная оптика*. 2010. Т. 34, № 1. С. 35–51.
3. Скиданов Р. В., Порфирьев А. П. Оптическая микроманипуляция с использованием бинарных фокусаторов // Там же. № 2. С. 214–218.
4. Коронкевич В. П. Дифракционная оптика и оптические технологии // Там же. № 1. С. 4–23.
5. Хонина С. Н., Скиданов Р. В., Качалов Д. Г. и др. Исследование формирования осевого отрезка с помощью оптимизированного бинарного ДОО // Там же. № 3. С. 350–359.

СКАНИРУЮЩАЯ ЗОНДОВАЯ МИКРОСКОПИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ БАКТЕРИАЛЬНЫХ КЛЕТОК

В. Б. Байбурин, О. С. Кузнецов, Ю. П. Волков, А. В. Ляшенко*

Саратовский государственный технический университет
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77
E-mail : baiburinvb@rambler.ru

*ОАО «НИИ-Тантал»
Россия, 410040, Саратов, пр. 50-лет Октября, 110А
E-mail : tantal@renet.ru

В статье описываются новые методы визуализации внутренних структур бактериальных клеток методами сканирующей зондовой микроскопии.

Ключевые слова : нанотехнология, зондовая микроскопия, микробиология, молекулярная биология.

High Resolution scanning Probe Microscopy of Bacteria Cells

V. B. Bayburin, O. S. Kuznetsov, Yu. P. Volkov, A. V. Ljashenko

In this article presented new methods of bacterial structures study by means of scanning probe microscopy are represented.

Key words : nanotechnology, scanning probe microscopy, microbiology, molecular biology.

В настоящее время широкое распространение получили методы исследования ультраструктуры бактерий, основанные на сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ). Достоинствами СЗМ являются доступность и простота методики исследования, возможность визуализации живых бактерий в обычных атмосферных условиях и даже в водной среде. Атомно-силовая микроскопия позволяет получать атомарное разрешение (до 1–2 Å в плоскости сканирования) при исследовании поверхности твердых объектов, однако разрешение значительно снижается для мягких биологических структур. Данное явление обусловлено углублением кончика острия кантилевера в мягкие клеточные структуры. При этом острие взаимодействует с объектом не в одной точке, а по окружности радиусом несколько десятков нанометров. Поэтому величина разрешения для мягких биологических объектов составляет 10–30 нм даже в режиме сканирования *tapping*, снижающем усилие воздействия острия на объект.

СЗМ изображения клеток бактерий чумы *Y-pestis* (штамм *EV*), полученные методом атомно-силовой микроскопии (микроскоп *Solver* фирмы *NT-MDT*) в режиме *tapping*, показаны на рис. 1. Видны отдельные клетки, однако разрешения недостаточно для визуализации отдельных белковых макромолекул, включенных во внешнюю мембрану бактериальных клеток.

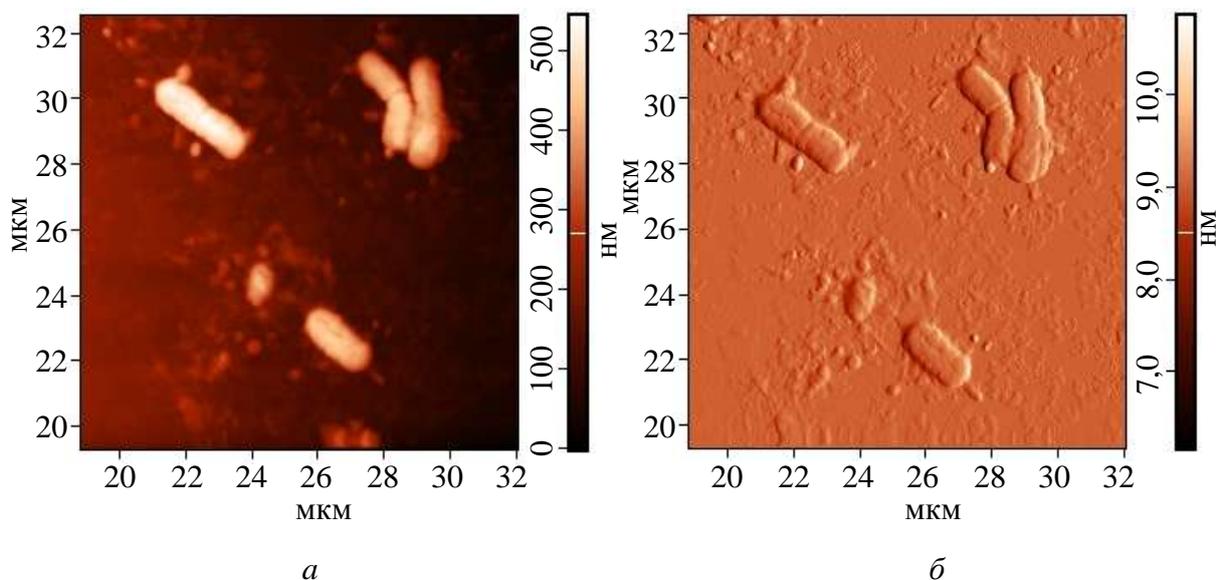


Рис. 1. Атомно-силовое изображение бактерий чумы *Y-pestis* (штамм *EV*) в режиме *tapping* : *а* – топография поверхности слюды, на которой видны отдельные бактериальные клетки; *б* – фазовое изображение той же поверхности

Для увеличения разрешающей способности возможно несколько подходов. Один из них – напыление на поверхность тонкого слоя проводника и последующее исследование рельефа с использованием туннельного микроскопа (микроскоп фирмы «Пьезон» СГТУ, г. Саратов). Изображение поверхности бактерии чумы *Y-pestis* (штамм *EV*), покрытой пленкой Pt/Ir толщиной 10 нм, приведено на рис. 2. На поверхности бактерии видны отдельные белковые молекулы (разрешение составляет 2–5 нм).

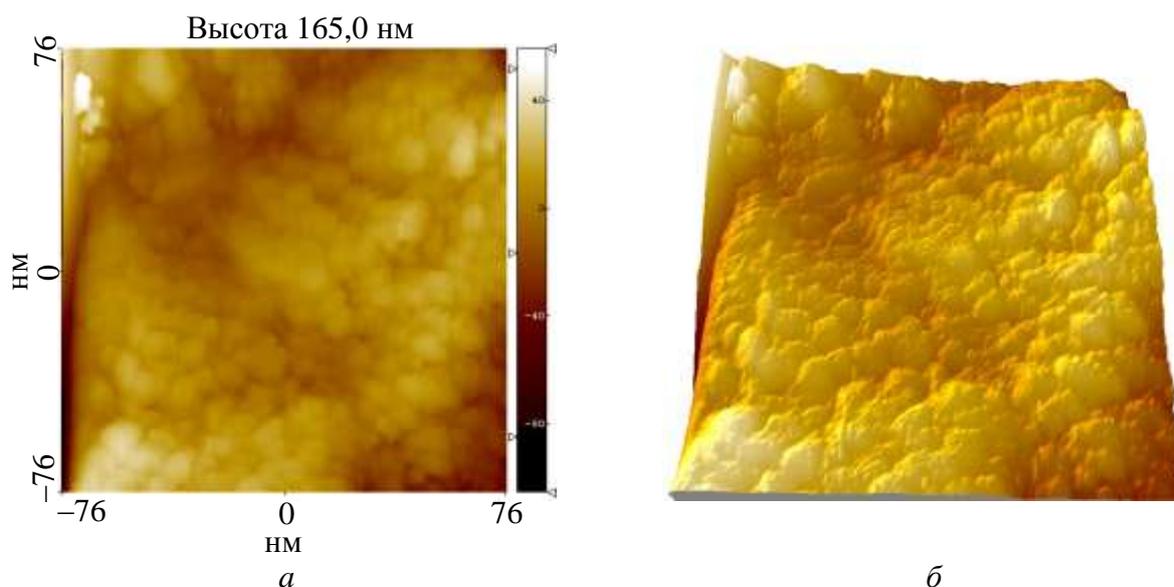


Рис. 2. Сканирующая туннельная микроскопия бактерий чумы *Y-pestis* (штамм *EV*) в режиме постоянного тока : *а* – вид сверху; *б* – трехмерная топография поверхности

Другим подходом является замораживание бактерий, что увеличивает их твердость и, следовательно, повышает разрешение при исследовании методами атомно-силовой микроскопии. Однако попытки проведения данных исследований не привели к успеху, поскольку поверхность клетки при замораживании покрывается слоем льда, маскирующим белковые макромолекулы.

Для повышения твердости бактерий можно использовать заливку клеток в специальные эпоксидные среды с последующим изготовлением и визуализацией их ультратонких срезов. Данная технология широко распространена в биологической практике [1], с ее помощью получено большинство современных данных об ультраструктуре различных клеток и тканей.

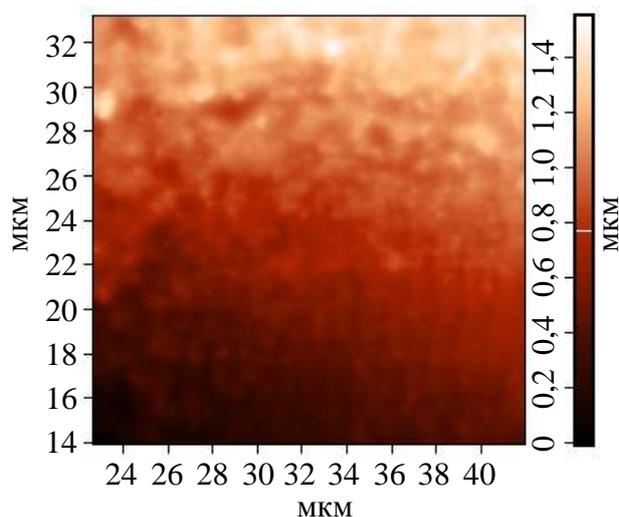


Рис. 3. СЗМ изображение среза залитых в смолу клеток чумного микроба *Y-pestis* (штамм *EV*) в режиме *tapping*

СЗМ изображение ультратонкого среза бактериальных клеток чумы *Y-pestis* (штамм *EV*), залитых в смолу *Spurr* по известной методике, приведено на рис. 3 [2]. Видно, что поверхность среза не содержит явно различимых биологических структур (срезов клеток чумы). Для визуализации этих структур возможно два подхода: использование иммунных меток к отдельным белкам, входящим в состав бактерий чумы, или протравливание поверхности среза с включенными в нее бактериями с помощью ферментов, растворяющих органические макромолекулы (например, каталазы).

Нами проведены предварительные исследования срезов бактериальных клеток с использованием вышеназванных методик.

Атомно-силовая микроскопия в режиме *tapping* среза залитых в смолу клеток чумного микроба *Y-pestis* (штамм *EV*) представлена на рис. 4.

Изображение среза с иммунной меткой (иммуноглобулином чумным, выдержка 30 мин при температуре 36°C с последующим пятикратным промыванием в бидистиллированной воде), полученные методом атомно-силовой микроскопии, показано на рис. 4, а. Видно, что отдельные клеточные структуры покрываются макромолекулами иммуноглобулина, таким образом, давая картину распределения комплементарного к нему белка.

Атомно-силовое изображение того же среза, обработанного ферментом, растворившим отдельные бактериальные структуры (250 мкг протеиназы К разведены в 100 мкл буфера (рН 6,8), травление при 60°C в течение 60 мин), приведено на рис. 4, б. Видно, что в изображении среза появились отдельные впадины, в том числе в виде трещин, визуализирующие распределение чувствительных к данному ферменту бактериальных макромолекул.

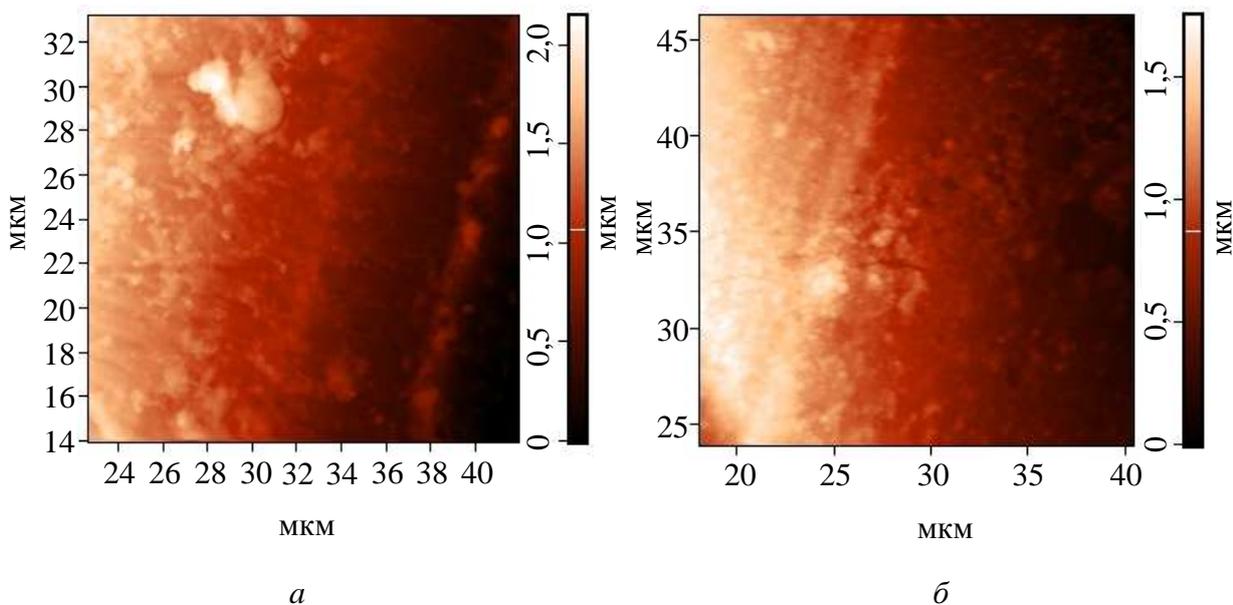


Рис. 4. Атомно-силовая микроскопия в режиме *tapping* среза залитых в смолу клеток чумного микроба *Y-pestis* (штамм *EV*)

Таким образом, используя сканирующую зондовую микроскопию, можно как получить высокоразрешающее изображение клеточных структур внешних мембран (см. рис. 2), так и исследовать локализацию отдельных белковых макромолекул. Для получения изображения целых клеточных срезов необходимо обрабатывать срез с помощью нескольких различных иммунных меток или протравливать его несколькими различными ферментами, реагирующими с макромолекулами, входящими в состав бактериальных клеток.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кутырев В. В., Коннов Н. П., Волков Ю. П. Возбудитель чумы, ультраструктура и локализация в переносчике. М. : Медицина, 2007. 224 с.
2. Каруну В. Я. Электронная микроскопия. Киев : Вища шк., 1984. 162 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА *COMPRESSED SENSING* В СОВРЕМЕННЫХ ТОМОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДАХ СБОРА ДАННЫХ

В. Б. Байбурин, Е. М. Ильин*, Ю. П. Волков, С. Д. Спицин, А. В. Ляшенко**

Саратовский государственный технический университет
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77
E-mail : baiburinvb@rambler.ru

*Министерство обороны РФ,
Россия, 119160, Москва, Знаменка, 19
E-mail : emIlin35@mail.ru

**ОАО «НИИ-Тантал»
Россия, 410040, Саратов, пр. 50-лет Октября, 110А
E-mail : tantal@renet.ru

Рассматриваются основные особенности и алгоритмы современного перспективного метода сбора и обработки данных – *compressed sensing*. Представлены результаты моделирования восстановления томографического изображения по малоракурсным данным.

Ключевые слова : нанотехнология, методы сверхразрешения, томографические методы сбора данных, численное моделирование.

Using of Compressed Sensing Method in modern tomographical Methods of Data Acquisitions

V. B. Bayburin, E. M. Il'in, Yu. P. Volkov, S. D. Spitsin, A. V. Ljashenko

In this article presented a new method of data acquisition – compressed sensing. Modeling results of tomography images enhancement obtained by compressed sensing method are discussed.

Key words : nanotechnology, optical super resolution, numerical tomography images modeling, numerical modeling.

В настоящее время разработан ряд весьма перспективных методов получения изображения : рентгеновская и ультрафиолетовая микроскопия, инфракрасная (терагерцовая) микроскопия, томографическое исследование объемных физических и биологических объектов (в том числе томографическое сканирование, томографическая микроскопия ближнего поля и др.).

Основными требованиями, предъявляемыми к современным средствам получения изображений, являются высокое разрешение, большая скорость работы (реальное время) и невысокая стоимость. Однако существующие томографические методики сканирования требуют длительного сбора данных и получения изображения, в то время как для исследования живых объектов зачастую необходимо сокращение времени сканирования до не-

скольких секунд [1]. В терагерцовых, рентгеновских и ультрафиолетовых микроскопах для достижения высокого разрешения также применяется сканирование изображения с использованием одиночного фотодетектора, что снижает быстродействие устройства на порядки [2].

Поэтому весьма актуальной задачей является разработка новых алгоритмов получения изображений, позволяющих во много раз сократить количество проводимых измерений при сохранении разрешения, среди которых наиболее многообещающим выглядит *compressed sensing* (CS) [3]. На основе данного метода к настоящему времени реализованы высокоскоростная малоракурсная томография, однопиксельная фотокамера терагерцового диапазона, преобразователи гигагерцового диапазона, приборы для анализа нуклеотидного состава фрагментов ДНК и др. Рассмотрим кратко особенности данного алгоритма для получения малоракурсных томографических изображений с высоким разрешением.

Измеряемый сигнал (изображение) \mathbf{x} (вектор размера $N \times 1$) может быть представлен в виде разложения по базовым функциям Ψ_i

$$x = \sum_{i=1}^N s_i \Psi_i \quad \text{или} \quad \mathbf{x} = \Psi \mathbf{s}, \quad (1)$$

где Ψ – матрица $N \times N$, составленная из базисных функций, а \mathbf{s} – столбец $N \times 1$, составленный из коэффициентов s_i разложения сигнала по базисным функциям. В качестве базисных функций могут выступать сплайны, вейвлеты (дискретные и непрерывные), синусы и косинусы (дискретное преобразование Фурье) и другие функции. Единственным требованием к используемым базисным функциям является разреженность полученных коэффициентов s_i . Сигнал \mathbf{s} называется K -разреженным, если только K его коэффициентов s_i отличны от нуля, а остальные $(N - K)$ равны нулю. Интерес представляет случай, когда в полученном разложении сигнала \mathbf{x} по базисным функциям число ненулевых коэффициентов мало $K \ll N$, при этом сигнал называется сжимаемым. В качестве подобных сжимающих преобразований для большинства известных сигналов применяются дискретные вейвлет-преобразования (Хаара, Добеши) и преобразования Фурье, на которых основаны также алгоритмы сжатия изображений *JPEG2000* и *JPEG*.

Поскольку имеется только K ненулевых коэффициентов, то для восстановления сигнала \mathbf{x} нет необходимости проводить N измерений, а достаточно произвести всего $M \approx K$ измерений. Представим измерительный процесс в виде внутреннего произведения сигнала \mathbf{x} и набора измерительных базисных функций Ψ_j , представленных в виде матрицы Φ , содержащей M строк и N столбцов (т.е. измеряются не все N значений входного сигнала) :

$$\mathbf{y} = \Phi \mathbf{x}. \quad (2)$$

Задача состоит в восстановлении входного сигнала \mathbf{x} , имеющего длину N , по набору из измеренных значений \mathbf{y} (длиной $M \ll N$). Очевидно, что данная задача недоопределена, и в случае произвольного сигнала \mathbf{x} имеет бесконечное множество решений. Однако если известно, что входной сигнал \mathbf{x} сильно разрежен и имеет только $K \ll N$ ненулевых коэффициентов, задача может быть решена для $M > K$ измеренных данных. Если входной сигнал \mathbf{x} неразрезанный (например, изображение, которое обычно содержит протяженные элементы), то необходимо подвергнуть его сжимающему преобразованию (1) :

$$\mathbf{y} = \Phi \mathbf{x} = \Phi \Psi \mathbf{s} = \Theta \mathbf{s}, \quad (3)$$

где Θ – матрица размером N -столбцов на M -строк.

На выбор пары (измерительная матрица Φ и матрица сжимающего преобразования Ψ) накладывается требование минимальности функции $\mu(\Phi, \Psi)$ (называемой функцией взаимной некогерентности (mutual incoherence) [1]) :

$$\mu(\Phi, \Psi) = \sqrt{N} \max |\langle \phi_k, \psi_j \rangle|, \quad (4)$$

где $1 \leq k, j \leq N$, причем величина когерентности может меняться от 1 до \sqrt{N} .

Когерентность показывает наибольшую корреляцию между любыми двумя элементами матриц Φ и Ψ . Если матрицы содержат коррелирующие друг с другом элементы, то когерентность увеличивается. Для эффективности работы алгоритма CS используемые измерительная матрица и матрица сжимающего преобразования должны быть максимально некогерентными.

Примерами таких матриц могут быть базисные функции Фурье преобразования (матрица Ψ) и дельта-функция Дирака (матрица Φ), для которых $\mu(\Phi, \Psi) = 1$ (минимальная когерентность), а также вейвлет-базис Хаара или Добеши (матрица Ψ) и нойслеты (*noiselets*) (матрица Φ), причем когерентность между нойслетами и вейвлетом Хаара составляет $\sqrt{2}$, а между нойслетом и вейвлетами Добеши четвертого и восьмого порядков – 2,2 и 2,9 соответственно [4].

Преимущество нойслетов состоит в наличии быстрого алгоритма их получения [4] и максимальной некогерентности с преобразованиями Хаара.

Действительная и мнимая компоненты матрицы нойслета 32×32 показаны на рис. 1, а, б.

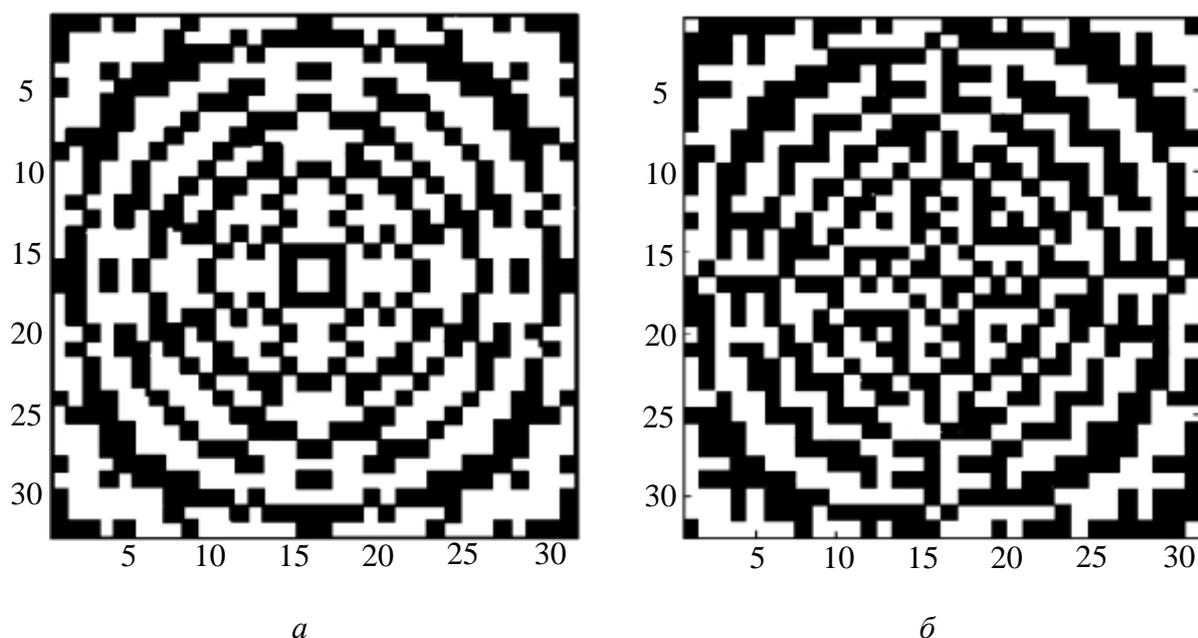


Рис. 1. Матрица нойслета размерами 32×32 бита : *a* – действительная часть; *б* – мнимая часть

Для восстановления сигнала \mathbf{x} из полученных данных необходимо решить систему линейных уравнений (3), которая является недоопределенной и поэтому нуждается в дополнительных регуляризирующих условиях, в качестве которых используется минимум величины

$$\|\mathbf{x}\|_{l_1} = \sum_j |x_j|. \quad (5)$$

Задача решается методами линейного программирования. Таким образом, решение \mathbf{x} ищется из следующих условий :

$$\begin{aligned} \min \|\mathbf{x}\|_{l_1}, \\ \mathbf{y} = \Phi \mathbf{x}, \end{aligned} \quad (6)$$

при этом известно несколько алгоритмов решения данной задачи : *Basis Pursuit (BP)* [3], *Finite rate of Innovations (FIR)* [5], *Non Local Hard Thresholding* [6] и др.

Приведем пример, иллюстрирующий возможности использования *BP*-алгоритма в томографии для восстановления изображения объекта по небольшому количеству собранных данных (малоракурсная томография) [1].

Разработанная нами программа основана на использовании бесплатной библиотеки процедур *l1-magic* (авторы *E. Candès* and *J. Romberg*, www.l1-magic.org), подключаемой к программе *MATLAB* и предназначенной для решения широкого круга задач, связанных с восстановлением одно- и многомерных данных по методике *CS*.

Рассмотрим восстановление изображения тестового объекта *Phantom* (рис. 2, *а*) по данным малоракурсной томографии (22 угловых направления) с использованием классического алгоритма (рис. 2, *б*) и *CS*-методики (рис. 2, *в*).

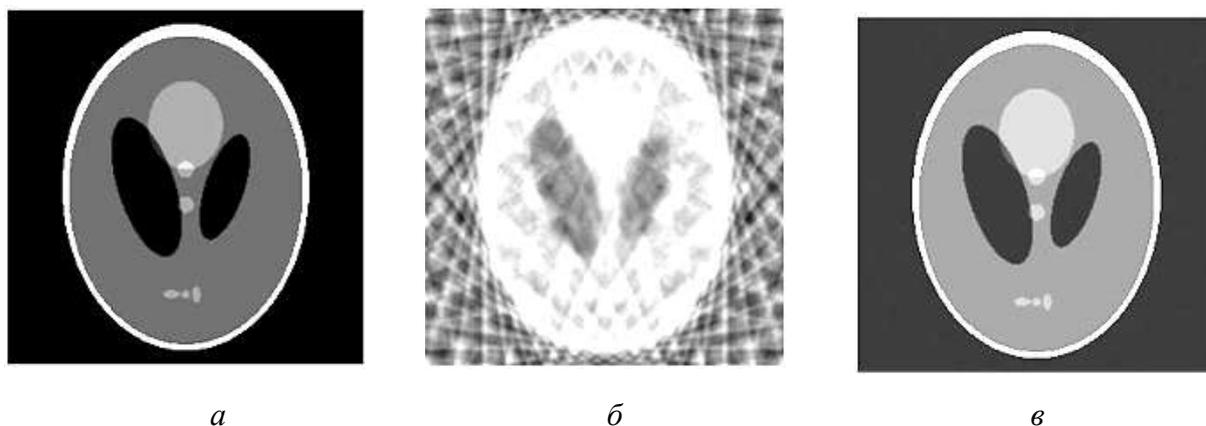


Рис. 2. Томографическое восстановление изображения по проекциям вдоль 22 линий (линии расположены равномерно с шагом по углу $\sim 8,2^\circ$) : *а* – исходное изображение стандартной тестовой структуры *Phantom*, используемой в томографии; *б* – восстановленное по классическому алгоритму изображение, на котором видны полосы, вызванные недостаточностью количества исходных данных; *в* – восстановленное по тем же собранным проекциям изображение на основе *CS* методики, которое имеет разрешение, практически не отличающееся от исходного

Видно, что алгоритм *CS* позволяет практически полностью восстановить изображение, несмотря на малое количество данных, в то время как классический алгоритм не позволяет сделать этого по используемым томографическим данным.

Таким образом, использование новых алгоритмов обработки томографических данных позволяет получить высокое разрешение при существенном (примерно на порядок) снижении количества проведенных измерений и, следовательно, значительно повысить скорость работы данного метода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Baraniuk R. G. Compressive Sensing // IEEE Signal Processing Magazine. 2007. Vol. 53, № 3. P. 118–124.
2. Chan W. L., Moravec M. L., Baraniuk R. G., Mittleman D. M. Terahertz imaging with compressed sensing and phase retrieval // Optics Letters. 2008. Vol. 33, № 9. P. 974–976.
3. Donoho D. Compressed sensing // IEEE Transactions on Information Theory. 2006. Vol. 52, № 4. P. 1289–1306.
4. Coifman R., Geshwind F., Meyer Y. Noiselets. Appl. Comput. Harmon // Anal. 2001. Vol. 10, № 1. P. 27–44.
5. Jovanovic I., Beferull-Lozano B. Oversampled A/D Conversion and Error-Rate Dependence of Nonbandlimited Signals With Finite Rate of Innovation // IEEE Transactions on Information Theory. 2006. Vol. 54, № 6. P. 2140–2154.
6. Gazit S., Szameit A., Eldar Y.C., Segev M. Super-resolution and reconstruction of sparse sub-wavelength images // Optics Express. 2009. Vol. 17, № 26. P. 23920–23946.

МЕТОДЫ СИНТЕЗА УСТРОЙСТВ, ВЫПОЛНЯЮЩИХ ИНСТРУКЦИИ ПЕРЕСТАНОВКИ БИТОВ ДАННЫХ

Л. С. Сотов

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail : slskit@mail.ru

В работе предложен метод структурного синтеза модуля для выполнения перестановок. Предложенное решение имеет эффективную аппаратную реализацию, высокое быстродействие и предназначено для выполнения инструкции *grp* и новых инструкций *grpm* и *bsn*, осуществляющих битовые перестановки данных.

Ключевые слова : перестановка, инструкция перестановок, модуль перестановок, многоуровневая коммутационная сеть, баньян переключатель, разбиение множества, вес Хемминга.

The Hardware Implementation of Permutation Instructions of Bits of the Data

L. S. Sotov

The method of structural synthesis of the module for performance of permutations is offered. The offered decision has effective hardware implementation, high speed and is intended for performance of instructions *grp*, *grpm* and *bsn*, for bit permutations of data.

Key words : permutation, permutation instruction, the module of permutations, multi-stage interconnection network, banyan switch, partition of a set, Hamming weight (population count).

Введение

Обеспечение параллелизма манипуляций с данными является одним из методов повышения производительности средств вычислительной техники. В настоящее время большинство процессоров общего назначения параллельно обрабатывают данные, имеющие 32 или 64 разряда, что позволяет с высокой скоростью осуществлять операции над числами с одинарной и двойной точностью. С расширением области применения средств вычислительной техники все чаще возникают задачи, связанные с обработкой битов и подслов данных. В число таких задач входят обработка морфологии изображений, сортировка, моделирование и тестирование цифровых устройств, задачи биоинформатики, расчет контрольных сумм и коррекция ошибок, стеганография, сжатие и развертывание информации, выполнение криптографических примитивов, обработка сигналов в системах *RPMA* (*random permutation-based multiple access*) для средств связи с использованием технологий расширения спектра, преобразование данных для передачи в текстовом формате и т.п. При этом затраты машинного времени на битовые преобразования данных составляют от 20 до 90% времени выполнения задачи. Возникает общая проблема : насколько эффек-

тивно процессор, ориентированный на работу с машинными словами, может манипулировать с битами данных.

Битовые перестановки сложны для программной реализации. Каждый бит должен быть извлечен из исходного регистра, перемещен на новое место в регистре назначения и объединен с ранее перестановленными битами. Это требует 4 инструкции на бит (генерация маски, И, сдвиг, ИЛИ) и $4n$ инструкций для выполнения произвольной перестановки n битов. В связи с этим в последние годы проводятся интенсивные исследования в области разработки устройств, ускоряющих обработку битов данных.

В работах [1–8] для ускорения осуществления битовых перестановок исследуются вопросы расширения архитектуры процессоров. В основе ряда предлагаемых решений лежат многоуровневые коммутационные сети [9, 10]. Для ускорения битовых перестановок были предложены новые инструкции *bfly* (*Butterfly*), *ibfly* (*Inverse Butterfly*) [7], *grp* (*Grop*) [4, 11, 12,]. Последовательное использование инструкций *bfly* и *ibfly* дает возможность осуществить любую перестановку, но конфигурация параметров этих инструкций может занимать значительное время. Инструкция *grp* является более универсальным альтернативным подходом, но существующие аппаратные решения не обладают необходимым быстродействием, причем полная перестановка выполняется с использованием $\log_2 n$ инструкций *grp*, где n – длина перестанавливаемого бинарного набора данных.

Для увеличения производительности в платформах IA-32 (*Intel Architecture, 32-bit*), AMD64, Itanium ISA, POWER (*Performance Optimization With Enhanced RISC*) [13] кроме базовых *shift* и *rotate* используются специализированные инструкции для манипуляций с битами данных. Среди них : *merge* (*vmrg*), *unpack*, *mix*, *reverse* (*mux1*), *rotate-and-clear* (*rlc*), *subword extract* (*pextr*, *extract*), *deposit* (*dep*, *dep.z*), *shift pair* (*shrp*), *subword insert* (*pins*, *insert*) [1] и др. Проблемой их использования является недостаточная гибкость. В связи с этим актуальной является разработка универсальных устройств манипуляций с битами данных.

Целью работы является исследование методов синтеза устройств, выполняющих инструкции битовых перестановок и манипуляций на основе формирователей упорядоченных разбиений и технологий многоуровневых коммутационных сетей.

Проблемы манипуляций с битами и группами битов (подсловами) в пределах машинного слова можно рассматривать в рамках концепции формирования изоморфных представлений или преобразования форматов данных, рассматриваемых в виде двоичных наборов. При этом можно выделить задачи с использованием фиксированных преобразований форматов и задачи, в которых формат представления данных изменяется в процессе вычислений. В последнем случае процесс можно рассматривать как динамическое форматирование.

В работах [14–16] показано, что для формирования перестановок и манипуляций с битами перспективным является метод формирования упорядоченных разбиений элементов входных данных.

Диаграммы, иллюстрирующие преобразования, осуществляемые с использованием инструкций $bsn\ r_1 = r_2, ar.b_1, ar.b_2, ar.b_3$; $grp\ r_1 = r_2, r_3$; $grpm\ r_1 = r_2, r_3$ для случая $n = 8$, где r_2 – регистр входных данных; r_1 – регистр выходных данных; $ar.b_1, ar.b_2, ar.b_3, r_3$ – регистры, хранящие код управления перестановкой, приведены на рис. 1. Отличие инструкции $grpm$ от grp заключается в том, что при использовании инструкции grp сгруппированные данные сохраняют свой первичный порядок, а при использовании инструкции $grpm$ порядок данных, выбранных с применением битов управления с низким логическим уровнем, меняется на обратный. Инструкция bsn предназначена для статического, а инструкция $grpm$ – для динамического преобразования форматов данных, так как настройка коммутационной матрицы при использовании этой инструкции выполняется значительно быстрее с использованием разработанных аппаратурных средств.

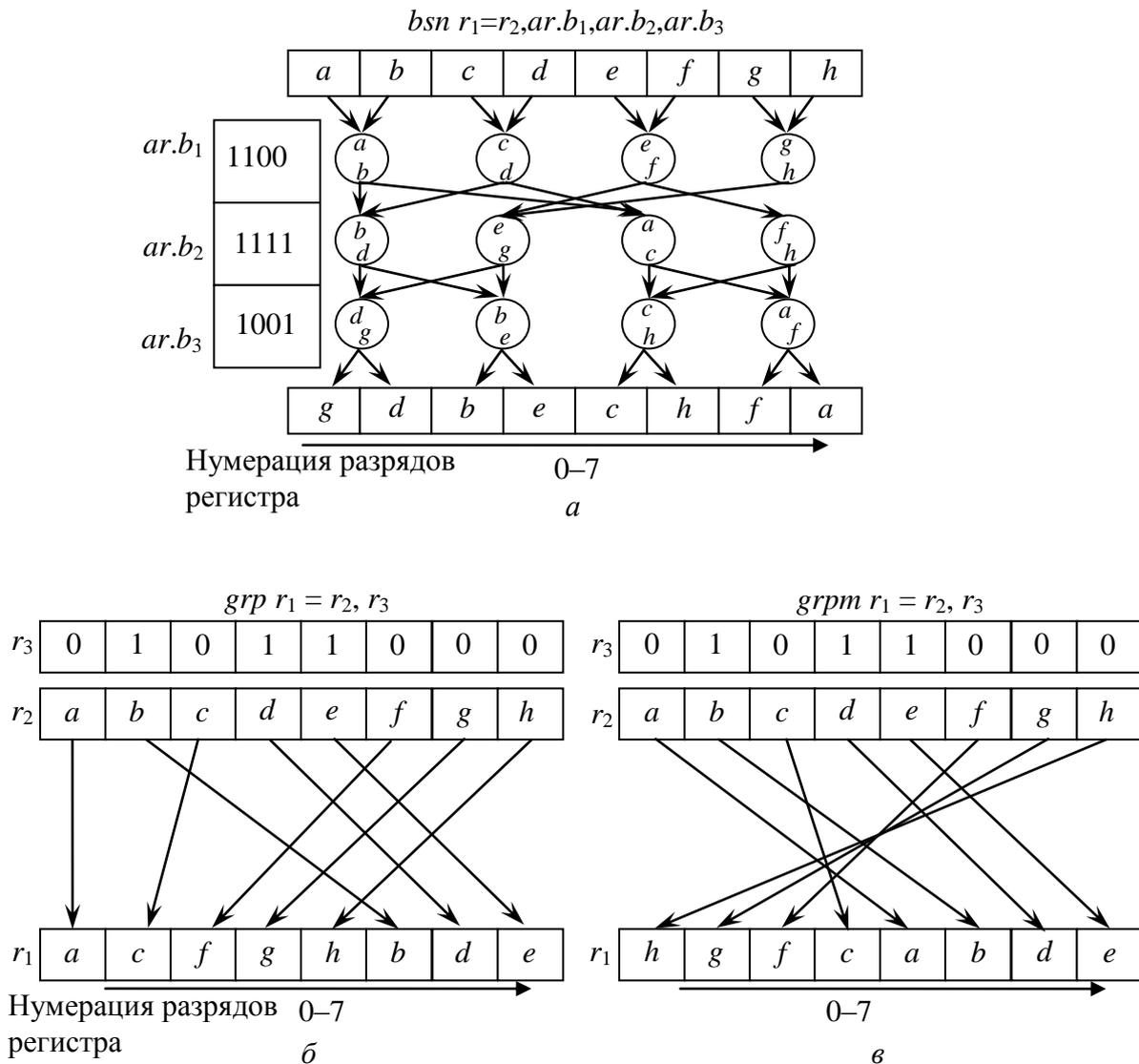


Рис. 1. Диаграмма преобразований, осуществляемых с использованием инструкций bsn (а), $grpm$ (б), grp (в)

В работах [14, 16, 17] показано, что произвольная перестановка битов и подслов данных формируется с использованием последовательно $\log_2 n$ инструкций *grpm* или двух инструкций *bsn*.

*Метод синтеза коммутационной матрицы
устройства выполнения инструкций grpm и bsn*

Синтез коммутационной матрицы устройства поддержки инструкций *grpm* и *bsn* осуществляется с использованием формирователей упорядоченных разбиений R_n входного n -элементного множества данных на два подмножества мощностью $n/2$ [16]. Формирователь упорядоченных разбиений представляет собой многоуровневую коммутационную сеть. Коммутация входных данных $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ осуществляется с использованием переключателей T_{ij} . Каждый переключатель имеет два входа, два выхода данных и бинарный вход управляющего кода $c \in \{0,1\}$. Данные на входах переставляются местами (при значении управляющего кода $c = 1$) либо не переставляются (при $c = 0$).

На каждом из уровней преобразования сети данные разбиваются на два линейно упорядоченных подмножества. При этом на входы переключателей первого уровня преобразования поступают данные множества $S_{11} = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, на входы переключателей второго уровня преобразования поступают данные множеств S_{21}, S_{22} и т.д.

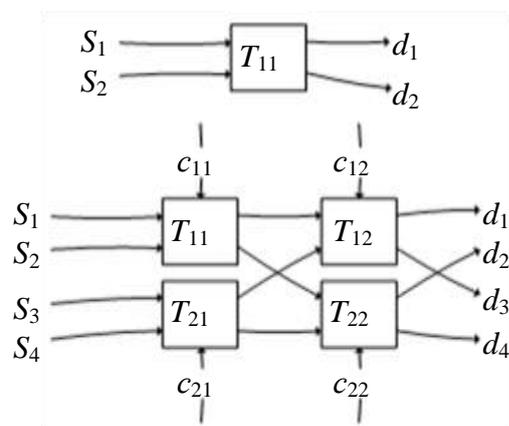


Рис. 2. Коммутационные матрицы формирователей упорядоченных разбиений двух- и четырехэлементного множества

Примеры коммутационных матриц для формирования упорядоченных разбиений двух- и четырехэлементного множеств приведены на рис. 2. Непосредственная проверка может подтвердить, что команду *grpm* $r_1 = r_2, r_3$ можно выполнить с использованием коммутационных матриц, изображенных на рис. 2. Для простоты будем считать, что данные в регистрах r_2 и r_3 одинаковые.

Результаты разбиений всевозможных бинарных наборов из четырех элементов на двух уровнях с использованием матрицы, изображенной на рис. 2, приведены в табл. 1. В столбце s_i входные данные упорядочены согласно индексу i , при этом запись 0_1 следует понимать как $s_1 = 0$ и т.д. В столбцах c_{j1}, c_{j2} расположены бинарные коды управления переключателями T_{j1}, T_{j2} . Из анализа табл. 1 следует, что выходные данные d_i находятся в соответствии со спецификацией инструкции *grpm*.

Упорядоченные разбиения, осуществляемые формирователем R_4

i	s_i	c_{j1}		c_{j2}	d_i	s_i	c_{j1}		c_{j2}	d_i	s_i	c_{j1}		c_{j2}	d_i	s_i	c_{j1}		c_{j2}	d_i
1	0 ₁	1	0 ₂	1	0 ₄	1 ₁	0	1 ₁	0	1 ₁	0 ₁	1	1 ₂	0	1 ₂	1 ₁	0	1 ₁	0	1 ₁
2	0 ₂		0 ₄		0 ₃	0 ₂		0 ₃		0 ₄	1 ₂		0 ₃		0 ₄	1 ₂		0 ₄		
3	0 ₃	1	0 ₁	1	0 ₂	0 ₃	0	0 ₂	1	0 ₃	0 ₃	0	0 ₁	1	0 ₃	0 ₃	1	1 ₂	0	0 ₄
4	0 ₄		0 ₃		0 ₁	0 ₄		0 ₄		0 ₂	0 ₄		0 ₄		0 ₁	0 ₄		0 ₃		
1	0 ₁	1	0 ₂	1	1 ₃	1 ₁	0	1 ₁	0	1 ₁	0 ₁	1	1 ₂	0	1 ₂	1 ₁	0	1 ₁	0	1 ₁
2	0 ₂		1 ₃		0 ₄	0 ₂		0 ₄		1 ₂	0 ₄		1 ₃		1 ₂	0 ₄		1 ₃		
3	1 ₃	0	0 ₁	1	0 ₂	1 ₃	1	0 ₂	1	0 ₄	1 ₃	1	0 ₁	1	0 ₄	1 ₃	0	1 ₂	0	1 ₃
4	0 ₄		0 ₄		0 ₁	0 ₄		1 ₃		0 ₂	0 ₄		1 ₃		0 ₁	0 ₄		0 ₄		
1	0 ₁	1	0 ₂	1	1 ₄	1 ₁	0	1 ₁	0	1 ₁	0 ₁	1	1 ₂	0	1 ₂	1 ₁	0	1 ₁	0	1 ₁
2	0 ₂		1 ₄		0 ₃	0 ₂		0 ₃		1 ₂	0 ₃		1 ₄		1 ₂	0 ₃		1 ₄		
3	0 ₃	1	0 ₁	1	0 ₂	0 ₃	0	0 ₂	1	0 ₃	0 ₃	0	0 ₁	1	0 ₃	0 ₃	1	1 ₂	0	1 ₄
4	1 ₄		0 ₃		0 ₁	0 ₄		0 ₄		0 ₂	1 ₄		1 ₄		0 ₁	1 ₄		0 ₃		
1	0 ₁	1	0 ₂	1	1 ₃	1 ₁	0	1 ₁	0	1 ₁	0 ₁	1	1 ₂	0	1 ₂	1 ₁	0	1 ₁	0	1 ₁
2	0 ₂		1 ₃		1 ₄	0 ₂		1 ₄		1 ₂	1 ₄		1 ₃		1 ₂	1 ₄		1 ₃		
3	1 ₃	0	0 ₁	1	0 ₂	1 ₃	1	0 ₂	1	1 ₄	1 ₃	1	0 ₁	1	1 ₄	1 ₃	0	1 ₂	0	1 ₃
4	1 ₄		1 ₄		0 ₁	1 ₄		1 ₃		0 ₂	1 ₄		1 ₃		0 ₁	1 ₄		1 ₄		

Алгоритм настройки переключателей матрицы следующий. Первый уровень осуществляет разбиение входного множества (s_1, s_2, s_3, s_4) на два подмножества, которые условно будем называть верхним S_1 и нижним S_2 , причем первый бит $s_m = 1$ попадает в верхнее подмножество S_1 , второй по порядку бит $s_r = 1$ – в нижнее подмножество S_2 , третий – в верхнее подмножество S_1 и т.д. Хранящиеся в регистре r_3 и имеющие низкий логический уровень биты разбиваются аналогично, но первый «ноль» попадает в нижнее подмножество S_2 , второй – в верхнее S_1 и т.д.

Метод синтеза преобразователя R_8 из двух преобразователей R_4^1 и R_4^2 и дополнительного уровня переключателей $T_{13}, T_{23}, T_{33}, T_{43}$, который необходим для разбиения входных данных на два подмножества, иллюстрирует рис. 3. При этом соединения последнего уровня преобразования выполнены так, чтобы обеспечить слияние результатов выполнения двух преобразований R_4 . В общем случае преобразователь R_n может быть построен на базе многоуровневой коммутационной сети с топологией *baseline* [18] с произвольным порядком следования уровней преобразования. Выходы коммутационной сети с топологией *baseline* соединены с выходами R_n в соответствии с приведенным ниже алгоритмом слияния данных.

Алгоритм слияния. Пусть d_i^1 – данные на выходах преобразователя R_n^1 , а d_i^2 – данные на выходах преобразователя R_n^2 , где $i = 1, \dots, n$. Тогда, если обозначить через d_i данные на выходах преобразователя R_{2n} , $d_{2i-1} = d_i^1$, а $d_{2i} = d_i^2$, где $i = 1, \dots, n$.

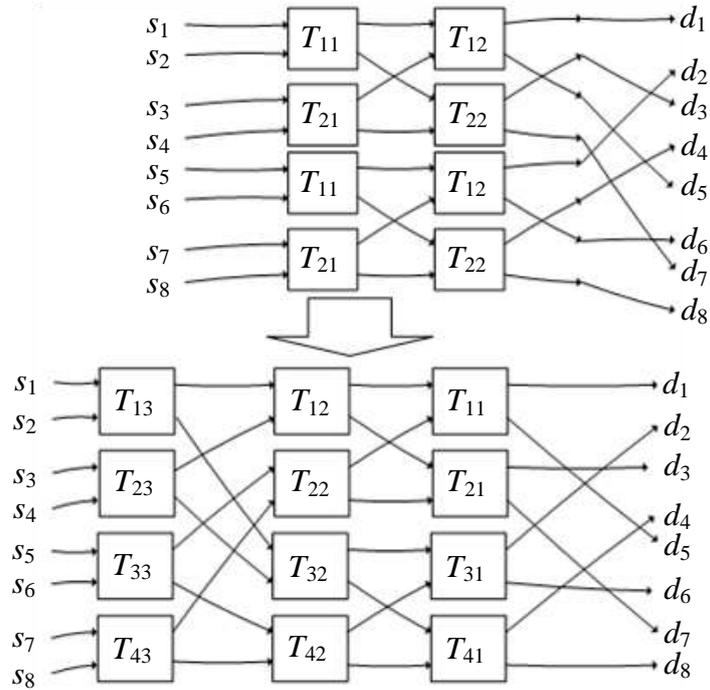


Рис. 3. Синтез коммутационной матрицы формирователя упорядоченных разбиений R_8

Лемма 1. Пусть a_{k-2}, \dots, a_1, a_0 – двоичное представление индекса $i = 1, 2, 3, \dots, n$ переключателя T_{ik} последнего уровня преобразования $k = \log_2 n + 1$, тогда для обеспечения слияния один выход переключателя T_{ik} соединяется с выходом m , а другой – с выходом r , причем

$$\begin{aligned} m &= \xi_{k-2}(\dots \xi_1(\xi(0))), \\ r &= m+n, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\xi(p) = \begin{cases} 2p-1, & \text{если } a_p = 0, \\ 2p, & \text{если } a_p = 1. \end{cases}$

Доказательство проведем по индукции. Непосредственная проверка убеждает, что при $n = 2$ теорема справедлива. Для соединений переключателя T_{12} справедливо $m = 2 \cdot 1 - 1 = 1$, $r = 1 + 2 = 3$. Для соединений переключателя T_{22} справедливо $m = 2 \cdot 1 = 2$, $r = 2 + 2 = 4$. Таким образом, соединения выходов переключателей последнего уровня находятся в соответствии с рис. 2. Пусть теорема справедлива для n . Докажем ее справедливость для $2n$. Для первых n переключателей значения старшего бита его индекса $a_{k-2} = 0$ и $m = 2 \cdot i_1 - 1$, $r = m + n$, где $i_1 = 1, \dots, n$ – индекс выхода преобразователя R_n^1 . Для последующих n переключателей значение старшего бита его индекса $a_{k-2} = 1$ и значение $m = 2 \cdot i_2$, $r = m + n$, где $i_2 = 1, \dots, n$ – индекс выхода преобразователя R_n^2 . Индексы m и r , определяющие соединения

выходов переключателей последнего уровня с выходами преобразователя, соответствуют описанному выше алгоритму слияния, что доказывает теорему.

Результаты расчета индексов выходов m и r преобразователей R_8 и R_{16} представлены в табл. 2, где a_0 – a_2 коэффициенты двоичного представления первого индекса переключателя T_{ik} .

Таблица 2

Результаты расчета индексов выходов преобразователей R_8 и R_{16}

Переключатель	a_2	a_1	a_0	m	r
R_8					
T_{03}	0	0	0	1	5
T_{13}	0	0	1	3	7
T_{23}	0	1	0	2	6
T_{33}	0	1	1	4	8
R_{16}					
T_{04}	0	0	0	1	9
T_{14}	0	0	1	5	13
T_{24}	0	1	0	3	11
T_{34}	0	1	1	7	15
T_{44}	1	0	0	2	10
T_{54}	1	0	1	6	14
T_{64}	1	1	0	4	12
T_{74}	1	1	1	8	16

Аналогичные результаты синтеза коммутационной матрицы получены автором ранее в работах [15, 19].

Лемма 2. Пусть $S = ((s_i, b_i)|i=1,2,3,\dots,2n)$ – линейно упорядоченное множество пар, где n – число переключателей T_{ij} на уровне j преобразователя; s_i – элемент входных данных; $b_i \in \{0,1\}$ – бит входных управляющих бинарных кодов; i – порядковый номер элемента.

Пусть $B_1 = ((s_i, b_i^1)|i=1,2,3,\dots,m)$ – линейно упорядоченное подмножество элементов множества S , у которых $b_i^1 = 1$, $B_0 = ((s_i, b_i^0)|i=1,2,3,\dots,2n-m)$ – линейно упорядоченное подмножество элементов множества S , у которых $b_i^0 = 0$, причем $S = B_1 \cup B_0$. Тогда существует набор кодов управления переключателями $C = (c_i|i=1,2,3,\dots,n)$ такой, что входные данные разбиваются на два n -элементных подмножества S_1, S_2 , $S = S_1 \cup S_2$, $S_1 \cap S_2 = \emptyset$, причем

$$(s_{2i-1}, b_{2i-1}^1) \in S_1, (s_{2i}, b_{2i}^1) \in S_2,$$

где i – натуральное число в диапазоне $0 < i \leq m/2$, а $(s_{2i-1}, b_{2i-1}^0) \in S_2$, $(s_{2i}, b_{2i}^0) \in S_1$, где i – натуральное число в диапазоне $0 < i \leq (n-m)/2$.

Доказательство проведем по индукции. Рассмотрим один переключатель $n = 1$. Возможные входные коды управления и значения сигналов управления этим переключателем, при которых выполняется теорема, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Входные коды управления и значения сигналов управления переключателем

Входные коды управления	Сигнал управления переключателем
(0,0)	1
(0,1)	1
(1,0)	0
(1,1)	0

Пусть теорема справедлива для n переключателей. Докажем ее справедливость для $(n + 1)$ переключателя. Пусть m – число элементов $(s_i, b_i^1) \in S$, тогда $(n - m)$ – число элементов $(s_i, b_i^0) \in S$.

Входные коды управления и значения сигналов управления $(n + 1)$ -м переключателем, при которых выполняются условия теоремы, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Входные коды управления и значения сигналов управления $(n+1)$ -м переключателем

Результаты настройки n переключателей	Входные коды управления	Сигнал управления $(n + 1)$ -м переключателем
m – четное	(0,0)	1
	(0,1)	1
	(1,0)	0
	(1,1)	0
m – нечетное	(0,0)	0
	(0,1)	0
	(1,0)	1
	(1,1)	1

Если m – четное, то $(2n - m)$ также четное. В этом случае последний в множестве S элемент $(s_i, b_i^1) \in S_2$, а последний в множестве S элемент $(s_i, b_i^0) \in S_1$. Поэтому один элемент (s_{2n+1}, b_{2n+1}^0) на одном из входов $(n + 1)$ -го переключателя распределяется в множество $S_2 : (s_{2n+1}, b_{2n+1}^0) \in S_2$, а второй элемент (s_{2n+1}, b_{2n+1}^1) на другом входе $(n + 1)$ -го переключателя распределяется в множество $S_1 : (s_{2n+1}, b_{2n+1}^1) \in S_1$. Эти условия определяют значение сигнала управления переключателем при четном значении m .

Если m – нечетное, то $(n - m)$ также нечетное. В этом случае последние в списках входных данных элементы $(s_i, b_i^1) \in S_1$, а $(s_i, b_i^0) \in S_2$. Поэтому один элемент (s_{2n+1}, b_{2n+1}^0) на входе $(n + 1)$ -го переключателя распреде-

ляется в множество $S_1 : (s_{2n+1}, b_{2n+1}^0) \in S_1$, а второй элемент (s_{2n+1}, b_{2n+1}^1) на входе $(n + 1)$ -го переключателя – в множество $S_2 : (s_{2n+1}, b_{2n+1}^1) \in S_2$. Это условие определяет значение сигнала управления переключателем при нечетном значении m . Таким образом, теорема доказана.

Как видно из табл. 4, при нечетном значении m сигналы управления переключателем инвертируются по сравнению с сигналами управления переключателем при четном m .

Формализуем спецификацию инструкции $grpm\ r_1 = r_2, r_3$.

Пусть $S = ((s_i, b_i) | i = 1, 2, 3, \dots, 2n)$ – линейно упорядоченное множество пар, где $s_i \in \{0,1\}$ – биты данных в регистре r_2 ; $b_i \in \{0,1\}$ – биты управляющего кода в регистре r_3 . Тогда инструкция $grpm\ r_1 = r_2, r_3$ осуществляет перестановку битов в регистре r_2 и помещает их в регистр r_1 , причем

$$((s_1, b_1^0), (s_2, b_2^0), \dots, (s_{2n-m}, b_{2n-m}^0), (s_m, b_m^1), (s_{m-1}, b_{m-1}^1), \dots, (s_1, b_1^1)),$$

где $B_1 = ((s_m, b_m^1), (s_{m-1}, b_{m-1}^1), \dots, (s_1, b_1^1))$ – линейно упорядоченное подмножество элементов множества S , у которых $b_i^1 = 1$;

$B_0 = ((s_1, b_1^0), (s_2, b_2^0), \dots, (s_{2n-m}, b_{2n-m}^0))$ – линейно упорядоченное подмножество элементов множества S , у которых $b_i^0 = 0$;

$$S = B_1 \cup B_2.$$

Докажем, что с использованием преобразователя R_n можно выполнить инструкцию $grpm$.

Теорема 1. Пусть $S = ((s_i, b_i) | i = 1, 2, 3, \dots, 2n)$ – линейно упорядоченное множество пар, где n – число переключателей $T_{i,j}$ на уровне j -го преобразователя ($1 \leq j \leq \log_2(n) + 1$), которые образуют многоуровневую коммутационную сеть с топологией *baseline*; s_i – элементы входных данных; $b_i \in \{0,1\}$ – биты входных управляющих бинарных кодов; i – порядковый номер элемента. Выходы коммутационной сети с топологией *baseline* соединены с выходами преобразователя R_n в соответствии с приведенным выше алгоритмом слияния данных. Тогда существует набор кодов управления переключателями $C = (c_{i,j} | i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, \log_2 n)$ такой, что на выходе R_n данные формируются в следующем порядке :

$$((s_1, b_1^0), (s_2, b_2^0), \dots, (s_{2n-m}, b_{2n-m}^0), (s_m, b_m^1), (s_{m-1}, b_{m-1}^1), \dots, (s_1, b_1^1)),$$

где $B_1 = ((s_m, b_m^1), (s_{m-1}, b_{m-1}^1), \dots, (s_1, b_1^1))$ – линейно упорядоченное подмножество элементов множества S , у которых $b_i^1 = 1$;

$B_0 = ((s_1, b_1^0), (s_2, b_2^0), \dots, (s_{2n-m}, b_{2n-m}^0))$ – линейно упорядоченное подмножество элементов множества S , у которых $b_i^0 = 0$;

$$S = B_1 \cup B_2.$$

Доказательство проведем по индукции. Пусть $n = 2$. Возможные входные коды управления и значения сигналов управления переключателем преобразователя R_2 , при которых выполняется теорема, приведены в табл. 3. Пусть теорема справедлива для n . Докажем её для $2n$. Согласно доказанной лемме 1 множество $S = ((s_i, b_i) | i = 1, 2, 3, \dots, 2n)$ с использованием n переключателей можно разбить на два подмножества S_1 и S_2 . Причем $(s_{2i-1}, b_{2i-1}^1) \in S_1$, $(s_{2i}, b_{2i}^1) \in S_2$, где i – натуральное число в диапазоне $0 < i \leq m/2$, а $(s_{2i-1}, b_{2i-1}^0) \in S_2$, $(s_{2i}, b_{2i}^0) \in S_1$, где i – натуральное число в диапазоне $0 < i \leq (n-m)/2$. Преобразователи R_n^1 и R_n^0 осуществляют группировку элементов (s_i, b_i^1) и (s_i, b_i^0) в подмножествах S_1 и S_2 . Причем число элементов (s_i, b_i^1) в подмножестве S_1 равно или больше на один элемент, чем число элементов (s_i, b_i^1) в подмножестве S_2 , а число элементов (s_i, b_i^0) в подмножестве S_2 равно или больше на один элемент, чем число элементов (s_i, b_i^0) в подмножестве S_1 . При этом сформулированный выше алгоритм слияния, который иллюстрируется рис. 3, обеспечивает группировку элементов (s_i, b_i^1) и (s_i, b_i^0) в соответствии со спецификацией инструкции *grpt*. Таким образом, теорема доказана.

Устройство управления матрицей преобразователя

Выше был описан метод синтеза матрицы устройства, осуществляющего команду *grpt* $r_1 = r_2, r_3$ (см. рис.1). В ходе обоснования принципов функционирования устройства был предложен алгоритм управления матрицей. Для быстрого осуществления инструкции *grpt* необходима аппаратная поддержка разработанного алгоритма.

Согласно доказанной выше теореме 1 для настройки группы переключателей, расположенных на произвольном уровне матрицы преобразователя и осуществляющих разбиение входных данных на два подмножества, коды управления матрицей, имеющие высокий логический уровень, разделяются на четные и нечетные. При этом управляющие биты каждого переключателя настраиваются так, чтобы каждый бит входных данных s_i регистра данных r_2 (см. рис. 1), соответствующий биту b_i регистра r_3 , имеющему высокий логический уровень и нечетный номер, распределялся в подмножество S_1 . При этом каждый бит входных данных s_i регистра r_2 ,

соответствующий биту b_i регистра управления r_3 , имеющий высокий логический уровень и четный номер, распределяется в подмножество S_2 . Каждый бит входных данных s_i регистра данных r_2 , соответствующий биту b_i регистра r_3 , имеющий низкий логический уровень и нечетный номер, распределяется в подмножество S_2 . Каждый бит входных данных s_i регистра r_2 , соответствующий биту b_i регистра управления r_3 , имеющий низкий логический уровень и четный номер, распределяется в подмножество S_1 .

Теорема 2. Пусть $S = ((s_i, b_i) | i = 1, 2, 3, \dots, 2n)$ – линейно упорядоченное множество пар, где n – число переключателей T_{ij} на уровне j -го преобразователя, которые образуют матрицу в соответствии с теоремой 1; s_i – элемент входных данных; $b_i \in \{0,1\}$ – бит входных управляющих бинарных кодов; i – порядковый номер элемента.

Пусть $B_1 = ((s_i, b_i^1) | i = 1, 2, 3, \dots, m)$ – линейно упорядоченное подмножество элементов множества S , у которых $b_i^1 = 1$; $B_0 = ((s_i, b_i^0) | i = 1, 2, 3, \dots, 2n - m)$ – линейно упорядоченное подмножество элементов множества S , у которых $b_i^0 = 0$, причем $S = B_1 \cup B_2$.

Пусть C – набор кодов управления переключателями в соответствии с теоремой 1. Пусть

$$q_i = \begin{cases} 0, & \text{если } (p = 1) \wedge (b_{2i-1} = 0), \\ p \bmod 2, & \text{если } (b_{2i-1} = 1), \\ (p - 1) \bmod 2, & \text{если } (b_{2i-1} = 0), \end{cases}$$

где $i = (1, 2, 3, \dots, n)$, $p = (1, 2, 3, \dots, m)$; $(s_p, b_p^1) \in B_1$; $(s_{2i-1}, b_{2i-1}) \in S$; $(s_p, b_p^1) \equiv (s_{2i-1}, b_{2i-1})$. Тогда, если $c_i = \overline{q}$, то $c_i \in C$.

Доказательство проведем по индукции. Пусть в блоке имеется один переключатель. На первый вход переключателя поступает элемент (s_1, b_1) , на второй вход – элемент (s_2, b_2) . Значения управляющих сигналов для данного случая представлены в табл. 5.

Таблица 5

Сигналы управления переключателем T_{1j} матрицы преобразователя

b_1	q_1	c_1
0	0	1
1	1	0

Анализируя данные, можно видеть, что значение бита управления переключателем c_1 можно вычислить, используя выражение

$$c_1 = \overline{q_1}. \quad (2)$$

Таким образом, для одного переключателя теорема выполняется.

Пусть теорема выполняется для n переключателей. Докажем справедливость теоремы для $(n + 1)$ -го переключателя.

Сигналы, определяющие настройку переключателя $T_{n+1,j}$ матрицы преобразователя, представлены в табл. 6.

Таблица 6

Сигналы управления переключателем $T_{n+1,j}$ матрицы преобразователя

m	b_{2n+1}	q_{n+1}	c_{n+1}
Четное	0	0	1
	1	1	0
Нечетное	0	1	0
	1	0	1

Заметим, что если m – четное число, то и $(n - m)$ – четное число, и наоборот, если m – нечетное число, то и $(n - m)$ – нечетное число.

Если m – четное число, сигналы управления переключателем $T_{n+1,j}$ матрицы преобразователя совпадают с сигналами управления переключателем $T_{1,j}$ -матрицы преобразователя. Если m – нечетное число, значения c_{n+1} инвертируются. При этом из анализа табл. 6 следует, что $c_{n+1} = \overline{q_{n+1}}$. Таким образом, теорема доказана.

Заметим, что инверсия всех битов c_i управления переключателями и замена подмножества S_1 на S_2 , а подмножества S_2 на S_1 матрицы не изменяет условий теоремы 2 за исключением того, что в этом случае

$$c_i = q_i. \quad (3)$$

Заметим также, что конструкция матрицы преобразователя, выполненная на основе многоуровневой коммутационной сети с топологией *baseline* [18], обеспечивает сохранение относительного порядка элементов в подмножествах S_1 и S_2 . Следовательно, для формирования битов управления переключателями на всех уровнях преобразования достаточно вычислить порядковые номера элементов множества $B_1 = \{(s_i, b_i^1) | i=0,2,3,\dots,m-1\}$. Для управления первым уровнем преобразования используются первые биты (младшие) двоичного представления порядковых номеров, для управления вторым уровнем – вторые биты двоичного представления порядковых номеров и т.д.

Таким образом, задача настройки матрицы преобразователя сводится к расчету порядковых номеров битов с высоким логическим уровнем в регистре управления r_3 .

Теорема 3. Пусть $S = ((s_i, b_i) | i = 1, 2, 3, \dots, 2n)$ – линейно упорядоченное множество пар, где n – число переключателей $T_{i,j}$ на уровне j -го преобразователя, которые образуют матрицу в соответствии с теоремой 1; s_i – элемент входных данных; $b_i \in \{0,1\}$ – бит входных управляющих бинарных кодов; i – порядковый номер элемента. Пусть $B_1 = ((s_i, b_i^1) | i = 0, 2, 3, \dots, m-1)$ – линейно упорядоченное подмножество элементов множества S , у которых $b_i^1 = 1$; $B_0 = ((s_i, b_i^0) | i = 0, 2, 3, \dots, 2n - m - 1)$ – линейно упорядоченное подмножество элементов множества S , у которых $b_i^0 = 0$, причем $S = B_1 \cup B_2$. Пусть C – набор кодов управления переключателями в соответствии с теоремой 2. Пусть

$$q_i = \begin{cases} 0, & \text{если } (p = 1) \wedge (b_{2i-1} = 0), \\ p \bmod 2, & \text{если } (b_{2i-1} = 1), \\ (p - 1) \bmod 2, & \text{если } (b_{2i-1} = 0), \end{cases}$$

где $i = (1, 2, 3, \dots, n)$; $p = (1, 2, 3, \dots, m)$; $(s_p, b_p^1) \in B_1$; $(s_{2i-1}, b_{2i-1}) \in S$; $(s_p, b_p^1) \equiv (s_{2i-1}, b_{2i-1})$. Тогда, если $c_i = \overline{q}$, то $c_i \in C$.

Доказательство проведем по индукции. Пусть в блоке имеется один переключатель. На первый вход переключателя поступает элемент (s_1, b_1) , на второй вход – элемент (s_2, b_2) . Значения управляющих сигналов для данного случая представлены в табл. 7.

Таблица 7

Сигналы управления переключателем $T_{1,j}$ матрицы преобразователя

b_1	q_1	c_1
0	0	1
1	0	0

Анализируя данные, можно видеть, что значение бита управления переключателем c_1 можно вычислить, используя выражение

$$c_1 = \overline{q_1} \cdot \overline{b_1} + q_1 \cdot b_1. \quad (4)$$

Таким образом, для одного переключателя теорема выполняется.

Пусть теорема выполняется для n переключателей. Докажем справедливость теоремы для $(n + 1)$ -го переключателя.

Сигналы, определяющие настройку переключателя $T_{n+1,j}$ матрицы преобразователя, представлены в табл. 8.

Сигналы управления переключателем $T_{n+1,j}$ матрицы преобразователя

m	b_{2n+1}	q_{n+1}	c_{n+1}
Четное	0	0	1
	1	0	0
Нечетное	0	1	0
	1	1	1

Анализируя данные табл. 8, заключаем, что

$$c_{n+1} = \overline{q_{n+1}} \cdot \overline{b_{2n+1}} + q_{n+1} \cdot b_{2n+1}.$$

В общем случае биты управления определяются логической функцией

$$c_i = \overline{q_i} \cdot \overline{b_{2i-1}} + q_i \cdot b_{2i-1}. \quad (5)$$

При $i = 1$ выражение (5) совпадает с выражением (4). Таким образом, теорема доказана.

Заметим, что возможным решением является также инверсия выражения (5), тогда

$$c_i = (q_i + b_{2i-1}) \cdot (\overline{q_{n+1}} + \overline{b_{2i-1}}).$$

Декодер битов управления, работа которого основана на теореме 3, обеспечивает наименьшую задержку формирования кодов управления матрицей, так как при расчете порядковых номеров формируются коды управления всеми уровнями матрицы, а не только текущим уровнем. Еще более эффективное решение заключается в комбинировании методов настройки матрицы преобразователя с использованием теорем 2 и 3.

Устройство для расчета порядковых номеров битов с высоким логическим уровнем

Расчет порядковых номеров можно реализовать, используя устройства для расчета числа битов с высоким логическим уровнем в бинарной строке данных [8]. Однако такое решение приводит к неоправданному росту числа используемых сумматоров. Поэтому в данной работе предложено другое решение.

Устройство для расчета порядковых номеров битов с высоким логическим уровнем для случая $n = 8$ представлено на рис. 4.

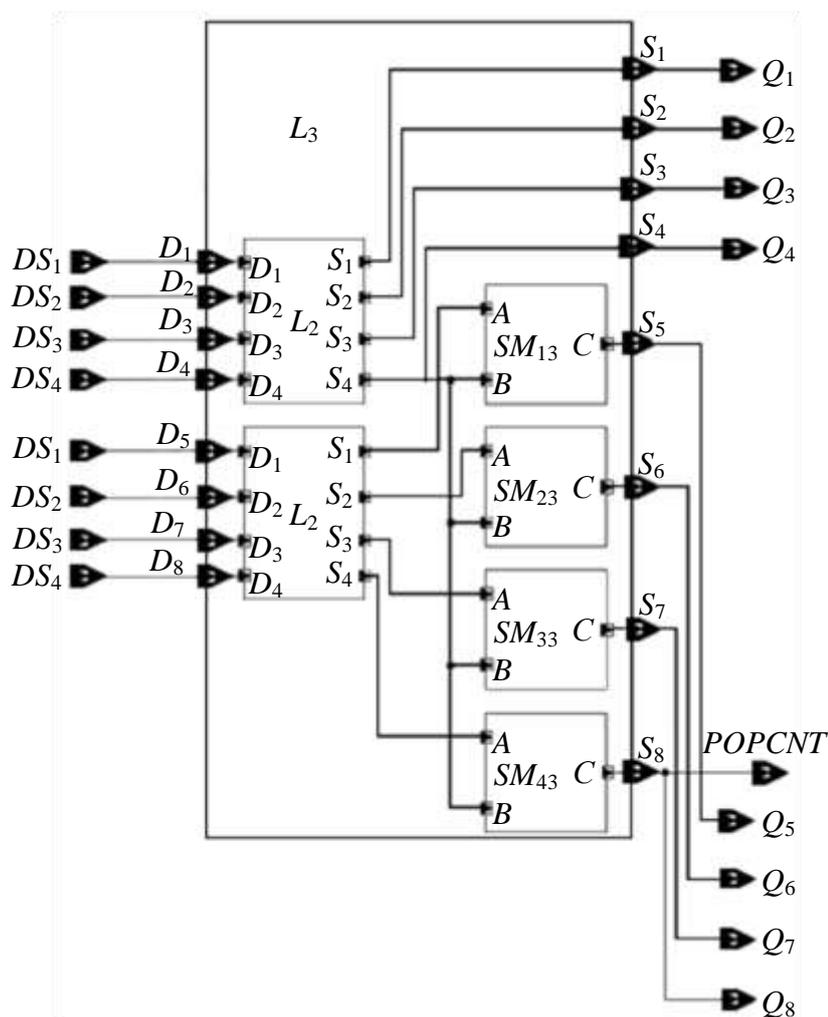


Рис. 4. Устройство для расчета порядковых номеров битов с высоким логическим уровнем для случая $n = 8$

Устройство содержит четыре вычислительных уровня L_1 , два вычислительных уровня L_2 , один вычислительный уровень L_3 . Причем уровни L_1 находятся внутри уровней L_2 и не изображены на рис. 4. Выходы уровня L_3 соединены через элементы логического умножения с выходами устройства. Уровень L_3 включает первый и второй уровни L_2 и четыре сумматора SM_{13} , SM_{23} , SM_{33} , SM_{43} . Входы D_1-D_4 уровня L_3 образованы входами D_1-D_4 первого уровня L_2 . Входы D_5-D_8 уровня L_3 образованы входами D_1-D_4 второго уровня L_2 . Выходы S_1-S_4 первого уровня L_2 образуют выходы S_1-S_4 уровня L_3 и соединены с выходами устройства Q_1-Q_4 . Выходы C сумматоров SM_{13} , SM_{23} , SM_{33} , SM_{43} уровня L_3 образуют выходы S_5-S_8 и соединены с выходами устройства Q_5-Q_8 . Выход S_4 первого уровня L_2 , входящего в состав уровня L_3 , дополнительно соединен с входами B сумматоров SM_{33} и SM_{43} .

ров $SM_{13}, SM_{23}, SM_{33}, SM_{43}$. Выход *POPCNT* устройства соединен с выходом *C* сумматора SM_{43} .

В общем случае устройство для расчета порядковых номеров битов с высоким логическим уровнем в бинарной строке данных длиной $n = 2^k$, где k – положительное целое число, имеет n бинарных входов DS_1, DS_2, \dots, DS_n битов входной строки данных; n выходов Q_1, Q_2, \dots, Q_n порядковых номеров битов с высоким логическим уровнем; выход *POPCNT* количества битов с высоким логическим уровнем. Устройство содержит 2^{k-m} вычислительных уровней L_m ($m = \overline{1, k}$). Каждый вычислительный уровень L_m ($m = \overline{2, k}$) состоит из первого и второго вычислительных уровней L_{m-1} и 2^{m-1} сумматоров $SM_{i,m}$ ($i = \overline{1, 2^{m-1}}$), имеющих первый *A* и второй *B* входы для подачи суммируемых чисел и выход *C* результатов суммирования чисел на входах *A* и *B*. Каждый вход D_i уровня L_m образован входом D_i первого вычислительного уровня L_{m-1} . Каждый вход D_q , где $q = i + 2^{m-1}$ уровня L_m образован входом D_i второго уровня L_{m-1} . Каждый выход S_i первого уровня L_{m-1} образует выход S_i уровня L_m . Выход S_p , где $p = 2^{m-1}$, первого уровня L_{m-1} дополнительно соединен со вторыми входами *B* сумматоров $SM_{i,m}$. Каждый выход S_i второго уровня L_{m-1} соединен с первым входом *A* сумматора $SM_{i,m}$. Каждый выход *C* сумматора $SM_{i,m}$ образует выход S_q , где $q = i + 2^{m-1}$, уровня L_m . Вычислительный уровень L_1 состоит из сумматора SM_{11} , имеет бинарные входы D_1, D_2 и выходы S_1, S_2 . Уровень L_k имеет n бинарных входов D_1, D_2, \dots, D_n , образующих входы устройства DS_1, DS_2, \dots, DS_n , и n выходов S_1, S_2, \dots, S_n результатов суммирования. Каждый выход результатов суммирования S_i уровня L_k соединен с выходом Q_i устройства, где $i = 1, \dots, n$. Выход результатов суммирования S_n уровня L_k дополнительно соединен с выходом *POPCNT* устройства.

Сумматоры вычислительного уровня L_k можно расположить в виде матрицы с числом линий n и числом стадий суммирования (столбцов) $k = \log_2 n$. Матрица содержит $nk/2$ сумматоров, которые располагаются в матрице приведенным ниже способом (рис. 5), при этом на каждой стадии суммирования находится $n/2$ сумматоров. Расположение сумматоров иллюстрируется диаграммой орграфа для случая $n = 16, k = 4$ (см. рис. 5).

Во всех вершинах (кроме висячих), определяющих входы и выходы матрицы, расположены сумматоры. Входы D_1-D_{16} матрицы соединены с соответствующими входами DS_1-DS_{16} устройства. Матрица имеет выходы S_1-S_{16} . Каждый выход S_i ($i = \overline{1, n}$) матрицы соединен с выходом Q_i устройства. Четыре стадии суммирования $j = 1, j = 2, j = 3, j = 4$ представлены на рис. 5. Каждая вершина орграфа, в которой расположен сумматор, имеет две входящих дуги и одну или несколько исходящих дуг. Две входящие дуги определяют соединения входов сумматора. Исходящие дуги определяют соединения выхода сумматора.

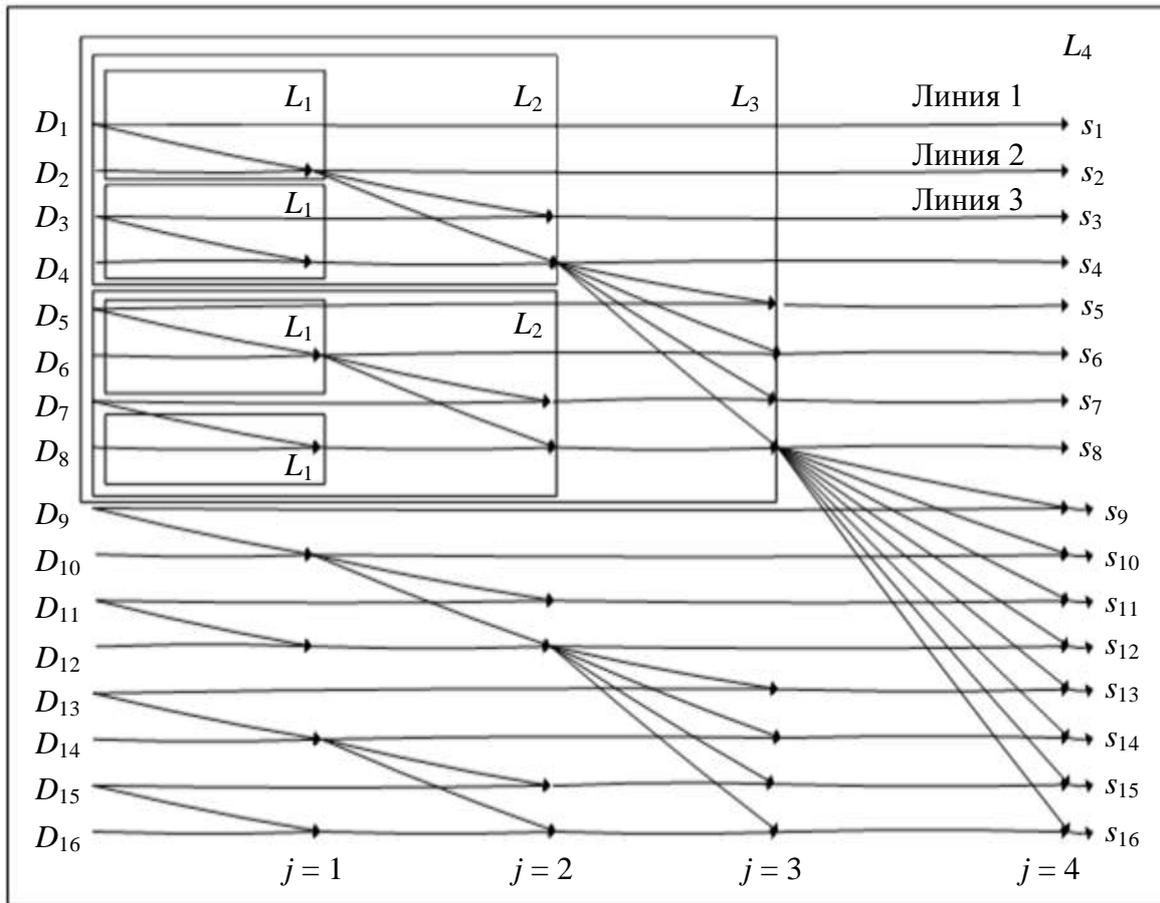


Рис. 5. Диаграмма орграфа матрицы сумматоров устройства для расчета порядковых номеров битов с высоким логическим уровнем для случая $n = 16$

Сумматоры первой стадии расположены на четных линиях с номерами $2i$, ($i = \overline{1, 2^{k-1}}$). Сумматоры второй стадии расположены на линиях с номерами $4i$ и $(4i - 1)$ ($i = \overline{1, 2^{k-2}}$). Сумматоры третьей стадии расположены на линиях с номерами $8i$, $(8i - 1)$, $(8i - 2)$, $(8i - 3)$ ($i = \overline{1, 2^{k-3}}$). В общем случае сумматоры стадии j ($j = \overline{1, k}$) расположены на линиях с номерами $(2^j i - w)$ ($i = \overline{1, I}$, $I = [2^{k-j}]$, $w = \overline{0, W}$, $W = [2^{j-1} - 1]$). Каждый вход DS_i ($i = \overline{1, n}$) соединен с входом A первого (ближайшего к входу DS_i) сумматора, расположенного на линии i . Если такого сумматора нет, вход DS_i соединен с выходом S_i . Выход C каждого сумматора, расположенного на линии i ($i = \overline{1, n}$) и стадии j ($j = \overline{1, k}$), соединен с входом A сумматора следующей за j -й стадией, расположенного на линии i . Причем если на линии i нет ни одного сумматора на стадиях с номером большим j , то выход C соединен с выходом S_i .

Каждый вход матрицы D_{2i-1} ($i = \overline{1, 2^{k-1}}$) дополнительно соединен с входом сумматора $MS_{i,1}$, расположенного на линии $2i$ первой стадии. Выход каждого сумматора $MS_{i,1}$, расположенного на линии $2i$ ($i = \overline{1, 2^{k-1}}$) первой

стадии, дополнительно соединен с входами двух сумматоров, расположенных на второй стадии на линиях с номерами $4i$ и $(4i - 1)$ ($i = \overline{1, 2^{k-2}}$). Выход каждого сумматора, расположенного на линии $4i$ ($i = \overline{1, 2^{k-2}}$) второй стадии, дополнительно соединен с входами четырех сумматоров, расположенных на четырех линиях с номерами $8i$, $(8i - 1)$, $(8i - 2)$, $(8i - 3)$ ($i = \overline{1, 2^{k-3}}$) третьей стадии. В общем случае выход каждого сумматора стадии j ($j = \overline{1, k-1}$), расположенного на линии с номером $2^j(2i - 1)$ ($i = \overline{1, I}$, $I = [2^{k-j-1}]$), дополнительно соединен с входами 2^j сумматоров, расположенных на линиях с номерами $(2^{j+1}i - w)$ ($w = \overline{0, W}$, $W = [2^j - 1]$) стадии $(j + 1)$.

Устройство работает следующим образом. На бинарные входы DS_1 , DS_2 , ..., DS_n устройства для расчета порядковых номеров битов с высоким логическим уровнем поступают биты входной строки данных. Через время задержки t_3 на выходах Q_1 , Q_2 , ..., Q_n устройства появляются значения порядковых номеров битов с высоким логическим уровнем во входной строке данных. Скорость выполнения операции зависит от типа используемых сумматоров. Если задержка сумматора не зависит от числа суммируемых разрядов и равна t_3 , задержка выполнения предлагаемым устройством расчета порядковых номеров битов с высоким логическим уровнем составляет $(t_3 \log_2 n + t_{3и})$, где $t_{3и}$ – задержка на логическом элементе И, которой обычно можно пренебречь. Задержка формирования результата на выходе $POPCNT$ равна $t_3 \log_2 n$.

В качестве сумматоров $SM_{i,j}$ ($i = \overline{1, n/2}$, $j = \overline{1, k}$) могут использоваться сумматоры с сохранением переноса, с последовательным переносом, со сквозным переносом, с ускоренным переносом и другие сумматоры, описанные, например, в [20, 21].

Структура, представленная на рис. 5, носит название сумматор Ладнера-Фишера (Ladner-Fischer) и имеет большие коэффициенты разветвления в узлах, что снижает быстродействие схемы. В связи с этим более быстродействующими оказываются структуры Кога-Стоуна (Kogge-Stone) и Хан-Карлсона (Han-Carlson) [23].

Устройство для выполнения инструкций $grpm$ и bsn

Структурно-функциональная схема устройства $GRPM-64$, выполняющего преобразование данных длиной $n = 64$ бит с использованием инструкций $grpm$ и bsn , представлена на рис. 6. Коммутационная матрица устройства включает 6 уровней преобразования bsn_1 – bsn_6 . В зависимости от выполняемой инструкции (bsn или $grpm$) блок FP осуществляет одно из

двух фиксированных соединений : первое осуществляет преобразование слияния согласно доказанной ранее лемме 1, а второе соединяет выходы последнего уровня коммутационной сети *baseline* с шиной данных.

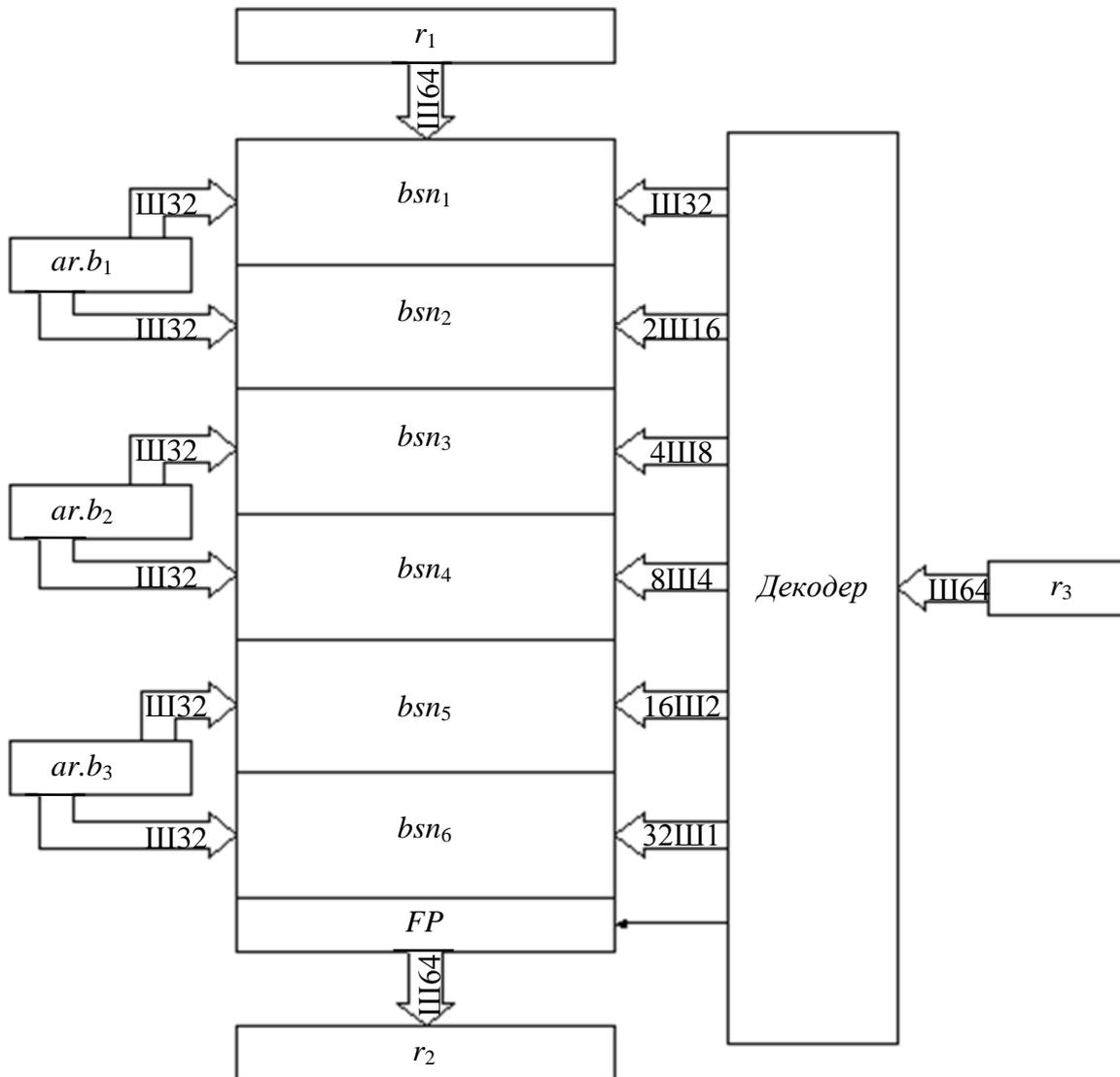


Рис. 6. Структурно-функциональная организация устройства формирования преобразований форматов данных с поддержкой инструкций *bsn* и *grpm*

Декодер битов управления, помещаемых в регистр r_3 процессора, включает в себя два блока для расчета порядковых номеров битов с высоким и низким логическими уровнями, содержащихся в регистре r_3 . Оба блока для расчета порядковых номеров состоят из сумматоров, образующих пирамидальную или матричную структуру. Если использовать в декодере только блок для расчета порядковых номеров битов с высоким логическим уровнем, относительный порядок следования битов регистра r_2 , соответствующих битам регистра r_3 с низким логическим уровнем, не будет сохранен.

Устройство для выполнения инструкций *grp*

Для выполнения инструкции *grp* необходимо использовать два устройства, изображенных на рис. 2. Причем входные данные s_i в одном устройстве умножаются на входные коды b_i управления, а входные данные s_i в другом устройстве умножаются на инвертированные входные коды \bar{b}_i .

Структурно-функциональная схема устройства выполнения инструкций *bsn*, *grpm*, *grp*, *pex*, *pex.v*, *dep*, *dep.v*, *shift*, где r_1 , r_2 , r_3 – регистры процессора; *DC* – декодер битов управления, расположенных в регистре r_3 ; bsn_i – уровни преобразования коммутационной сети *baseline*; *MX* – мультиплексы, осуществляющие управление кодами управления уровнями преобразования bsn_i , входными и выходными данными; *AND* – блок логических элементов, осуществляющий операцию побитового «И»; *OR* – блок логических элементов, осуществляющий операцию побитового «ИЛИ»; *FP* – блок, осуществляющий фиксированные соединения в соответствии с алгоритмом слияния и леммой 1; $ar.b_1$, $ar.b_2$, $ar.b_3$ – специальные функциональные регистры, хранящие код управления перестановкой, представлена на рис. 7.

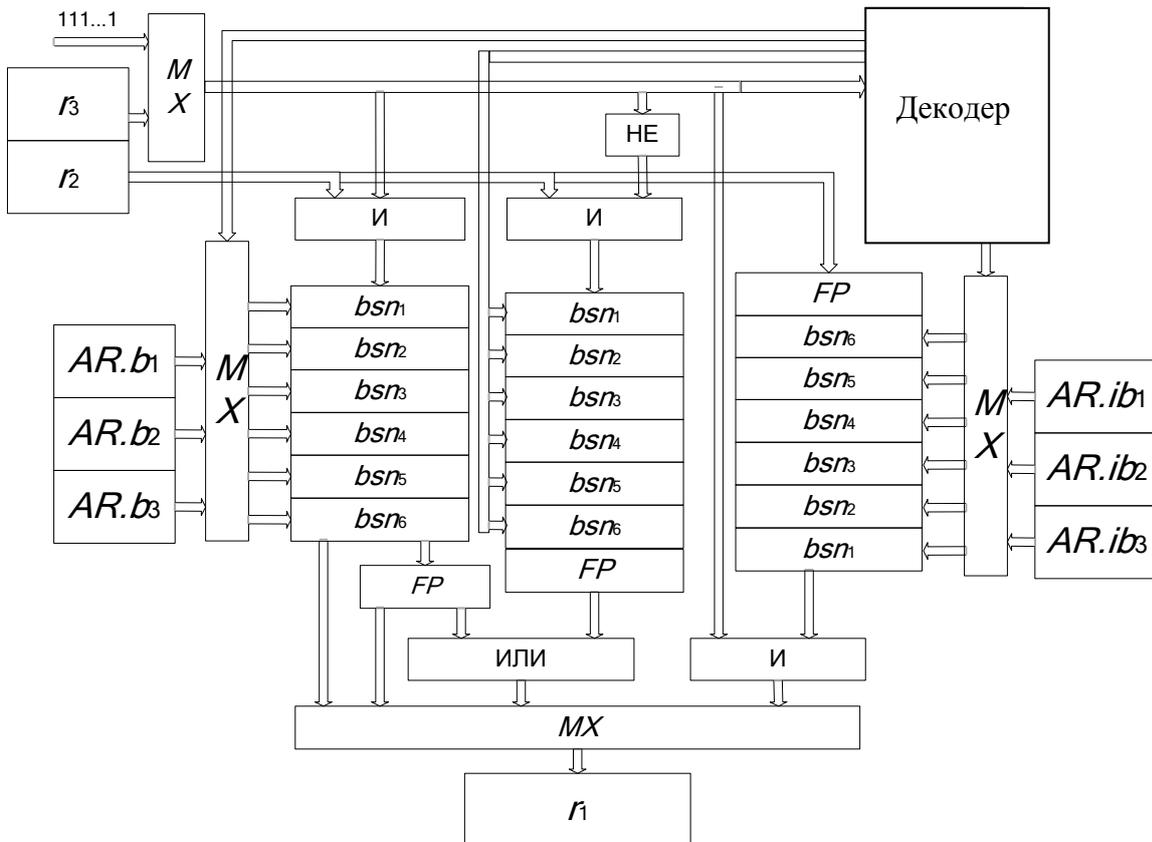


Рис. 7. Структурно-функциональная организация устройства выполнения инструкций *bsn*, *grpm*, *grp*, *pex*, *pex.v*, *dep*, *dep.v*, *shift*, *rotate*

Как показано на рис. 7, биты данных на выходах устройств подаются на входы блока, содержащего n логических элементов «ИЛИ».

Результаты альтернативных разбиений четырех элементов на двух уровнях с использованием матрицы (см. рис. 2), осуществляемых вторым устройством, приведены в табл. 9. Из сравнения табл. 9 и 1 видна возможность выполнения инструкции grp с использованием двух устройств, выполняющих инструкцию $grpm$.

В практических реализациях аппаратных модулей выполнения инструкции grp $r_1 = r_2, r_3$ достаточно использовать один декодер управляющих кодов, содержащихся в регистре r_3 , что сокращает количество используемых в декодерах сумматоров в два раза. Декодер управляющих кодов инструкции $grpm$ включает в себя два блока для расчета порядковых номеров битов с высоким логическим и низким логическими уровнями, содержащихся в регистре r_3 .

Таблица 9

Альтернативные упорядоченные разбиения, осуществляемые формирователем R_4

i	s_i	C	C	d_i	s_i	C	C	d_i	s_i	C	C	d_i	s_i	C	C	d_i	s_i	C	d_i	
1	0 ₁	0	0 ₁	0	0 ₁	1 ₁	0	1 ₁	0	1 ₁	0 ₁	1	1 ₂	0	1 ₂	1 ₁	1	1 ₂	0	1 ₂
2	0 ₂	0	0 ₃	0	0 ₂	0 ₂	0	0 ₃	0	0 ₂	1 ₂	1	0 ₃	0	0 ₁	1 ₂	1	0 ₃	0	1 ₁
3	0 ₃	0	0 ₂	0	0 ₃	0 ₃	0	0 ₂	0	0 ₃	0 ₃	0	0 ₁	0	0 ₃	0 ₃	0	1 ₁	0	0 ₃
4	0 ₄	0	0 ₄	0	0 ₄	0 ₄	0	0 ₄	0	0 ₄	0 ₄	0	0 ₄	0	0 ₄	0 ₄	0	0 ₄	0	0 ₄
1	0 ₁	1	0 ₂	1	1 ₃	1 ₁	1	0 ₂	1	1 ₃	0 ₁	0	0 ₁	1	1 ₃	1 ₁	0	1 ₁	1	1 ₃
2	0 ₂	1	1 ₃	1	0 ₁	0 ₂	1	1 ₃	1	1 ₁	1 ₂	0	1 ₃	1	1 ₂	1 ₂	0	1 ₃	1	1 ₂
3	1 ₃	0	0 ₁	0	0 ₂	1 ₃	0	1 ₁	0	0 ₂	1 ₃	0	1 ₂	0	0 ₁	1 ₃	0	1 ₂	0	1 ₁
4	0 ₄	0	0 ₄	0	0 ₄	0 ₄	0	0 ₄	0	0 ₄	0 ₄	0	0 ₄	0	0 ₄	0 ₄	0	0 ₄	0	0 ₄
1	0 ₁	1	0 ₂	1	1 ₄	1 ₁	0	1 ₁	0	1 ₁	0 ₁	0	0 ₁	1	1 ₄	1 ₁	0	1 ₁	1	1 ₄
2	0 ₂	1	1 ₄	1	0 ₁	0 ₂	0	0 ₃	0	0 ₂	1 ₂	0	1 ₄	1	1 ₂	1 ₂	0	1 ₄	1	1 ₂
3	0 ₃	1	0 ₁	0	0 ₂	0 ₃	0	0 ₂	0	0 ₃	0 ₃	1	1 ₂	0	0 ₁	0 ₃	1	1 ₂	0	1 ₁
4	1 ₄	1	0 ₃	0	0 ₃	0 ₄	0	0 ₄	0	0 ₄	1 ₄	1	0 ₃	0	0 ₃	1 ₄	1	0 ₃	0	0 ₃
1	0 ₁	0	0 ₁	1	1 ₄	1 ₁	0	1 ₁	1	1 ₄	0 ₁	1	1 ₂	1	1 ₄	1 ₁	1	1 ₂	1	1 ₄
2	0 ₂	0	1 ₄	1	1 ₃	0 ₂	0	1 ₄	1	1 ₃	1 ₂	1	1 ₄	1	1 ₂	1 ₂	1	1 ₄	1	1 ₃
3	1 ₃	1	0 ₂	1	0 ₁	1 ₃	1	0 ₂	1	1 ₁	1 ₃	1	0 ₁	1	1 ₄	1 ₃	1	1 ₁	1	1 ₂
4	1 ₄	1	1 ₃	1	0 ₂	1 ₄	1	1 ₃	1	0 ₂	1 ₄	1	1 ₃	1	0 ₁	1 ₄	1	1 ₃	1	1 ₁

Для упрощения конструкции декодера, формирующего биты управления переключателями T_i для выполнения инструкций grp и $grpm$, можно использовать следующий метод.

Пусть c_1, c_2, \dots, c_h – биты управления переключателями T_i , осуществляющими разбиение множества S на два подмножества S_1 и S_2 в соответствии с теоремой 2 или теоремой 3. Для определенности будем считать, что нечетные биты $b_i = 1$ распределяются в S_1 , а нечетные биты $b_i = 0$ – в S_2 . Изменим порядок расчета четных и нечетных номеров, считая, что c_h – бит управления первым переключателем T_h . При этом возможно два варианта настройки c_h в соответствии с теоремами 2 или 3. Согласно первому вари-

анту инверсии c_h не требуется. В этом случае биты c_1, c_2, \dots, c_h поступают на входы управления соответствующими переключателями коммутационной матрицы второго устройства. Если для правильной настройки необходимо инвертировать c_h , то все биты c_1, c_2, \dots, c_h инвертируются, а затем поступают на входы управления соответствующими переключателями коммутационной матрицы второго устройства.

В работах [3, 4] был доказан ряд утверждений, касающихся аппаратных модулей выполнения инструкций *pex, pex.v, dep, dep.v, shift, rotate*. Все эти инструкции можно осуществить, используя коммутационную матрицу R_n , построенную в соответствии с теоремой 1. Докажем соответствующие утверждения.

*Аппаратурный модуль выполнения инструкций
pex, pex.v, dep, dep.v, shift, rotate (rotl u rotr)*

Докажем, что любую инструкцию *pex, pex.v, dep, dep.v, shift* можно выполнить с использованием преобразователя R_n , удовлетворяющего условиям теоремы 1.

Теорема 4. Любая параллельная инструкция *pex, pex.v, shift* может быть выполнена с использованием одного преобразования R_n , удовлетворяющего условиям теоремы 1.

Для доказательства заметим, что преобразователь R_n группирует элементы данных, входящих во множество $B_1 = ((s_i, b_i^1) / i=1,2,3,\dots,m)$. Поэтому если реализовать побитовое умножение входных данных регистра r_2 на коды управления в регистре r_3 и осуществить над полученными данными операцию R_n , на выходе будут получены результаты, формируемые с использованием инструкций *pex, pex.v, shift*.

Теорема 5. Любая параллельная инструкция *dep, dep.v* может быть выполнена с использованием одного преобразования обратного R_n , удовлетворяющего условиям теоремы 1.

Для доказательства заметим, что обратное преобразование R_n размещает элементы данных, входящих во множество $B_1 = ((s_i, b_i^1) / i=1,2,3,\dots,m)$ в заданных позициях. Поэтому если осуществить над данными в регистре r_2 операцию, обратную R_n , а затем реализовать побитовое умножение выходных данных на коды управления в регистре r_3 , на выходе будут получены результаты, формируемые с использованием инструкций *dep, dep.v*.

Заметим, что результаты выполнения инструкций циклического сдвига являются частными случаями использования инструкции *grp* $r_1 = r_2, r_3$. Однако декодирование управляющих кодов в регистре r_3 в случае циклических сдвигов проще.

Инструкции обработки битов данных и задержки их выполнения при использовании разработанных аппаратных средств приведены в табл. 10. Задержки выполнения инструкций измерены в единицах τ_3 .

Инструкции манипуляции битами данных

Инструкция	Описание	Задержка выполнения, τ_3
$bsn\ r_1=r_2, ar.b_1, ar.b_2, ar.b_3$	Осуществление инструкции перестановки битов данных с использованием многоуровневой коммутационной сети <i>baseline</i>	12
$pex\ r_1=r_2, ar.b_1, ar.b_2, ar.b_3$	Статическая инструкция извлечения группы битов из регистра r_2	14
$dep\ r_1=r_2, ar.b_1, ar.b_2, ar.b_3$	Статическая инструкция размещения группы битов регистра r_2 в регистре r_1	14
$pex.v\ r_1=r_2, r_3$	Динамическая инструкция извлечения группы битов из регистра r_2 в соответствии с маской в регистре r_3	32
$dep.v\ r_1=r_2, r_3$	Динамическая инструкция размещения группы битов из регистра r_2 в соответствии с маской в регистре r_3	32
$grpm\ r_1=r_2, r_3$	Биты данных в регистре r_2 , соответствующие единичным битам в регистре r_3 , группируются в правой части регистра r_1 , биты данных в регистре r_2 , соответствующие нулевым битам в регистре r_3 , группируются в левой части регистра r_1 , при этом порядок их следования меняется на обратный	30
$grp\ r_1=r_2, r_3$	Биты данных в регистре r_2 , соответствующие единичным битам в регистре r_3 , группируются в правой части регистра r_1 , биты данных в регистре r_2 , соответствующие нулевым битам в регистре r_3 , группируются в левой части регистра r_1	33
$shr\ r_1=r_2, r_3$	Логический сдвиг данных в регистре r_2 вправо на число бит, заданное в регистре r_3	16
$shl\ r_1=r_2, r_3$	Логический сдвиг данных в регистре r_2 влево на число бит, заданное в регистре r_3	16
$rotr\ r_1=r_2, r_3$	Циклический сдвиг данных в регистре r_2 вправо на число бит, заданное в регистре r_3	17
$rotl\ r_1=r_2, r_3$	Циклический сдвиг данных в регистре r_2 влево на число бит, заданное в регистре r_3	17

В работе [4] предложен модуль перестановок, аналогичный устройству, представленному на рис. 7. Он выполнен с использованием двух типов многоуровневых коммутационных сетей с топологией *butterfly* и инверсной топологией *butterfly*.

К преимуществам предложенного решения относятся следующие положения. Для осуществления произвольной перестановки битов данных в предложенном решении последовательно используются две инструкции *bsn* $r_1 = r_2, ar.b_1, ar.b_2, ar.b_3$, причем задержка выполнения каждой инструкции составляет $12\tau_3$, где τ_3 – максимальная задержка изменения сигнала на выходе логического инвертора, нагруженного на четыре входа. Модуль перестановок, предложенный в [4], осуществляет произвольную перестановку с использованием двух различных инструкций *bfly* $r_1 = r_2, ar.b_1, ar.b_2, ar.b_3$ и *ibfly* $r_1 = r_2, ar.b_1, ar.b_2, ar.b_3$, причем задержка выполнения каждой инструкции составляет $12\tau_3$ [22]. Таким образом, предложенный в данной работе модуль для выполнения произвольных перестановок на базе многоуровневой коммутационной сети с топологией *baseline* содержит в два раза меньшее число переключателей при аналогичных задержках выполнения инструкций.

Декодер предложенного устройства представляет собой блок для расчета числа битов с высоким логическим уровнем. Аналогичное устройство с названием «*parallel prefix popcount*» содержит декодер модуля перестановок [4]. Однако этот декодер содержит также блоки *LROTc* (*left rotate and complement upon wrap around*), которые вносят существенную задержку формирования битов управления коммутационной матрицей и более чем в два раза усложняют конструкцию декодера. Это приводит к тому, что, по данным [23], задержка выполнения инструкции *grp* с использованием модуля перестановок составляет более $38\tau_3$. В предложенном решении блоки *LROTc* отсутствуют и задержка выполнения инструкции *grp* составляет $33\tau_3$. Соответственно при использовании предложенного устройства ускоряется выполнение инструкций *rex.v* $r_1=r_2, r_3, pdep.v $r_1=r_2, r_3$.$

В данной работе предложена инструкция *grpm*, которая является аналогом инструкции *grp*, но устройство *GRPM-64* для выполнения этой инструкции построено на базе одной многоуровневой коммутационной сети с топологией *baseline*, а не двух с инверсной топологией *butterfly*.

Заключение

Разработанное устройство на базе формирователя упорядоченных разбиений позволило объединить два преимущества : быстрое выполнение статических преобразований и осуществление динамического преобразова-

ния форматов данных. При этом аппаратурная сложность устройства составляет $O(n \log_2 n)$. Было показано, что :

– любые параллельные инструкции *rex* выделения и группировки с сохранением начального порядка битов данных могут быть осуществлены с использованием наложения битовой маски на входные данные и однократного преобразования упорядоченного разбиения входных данных на два подмножества с использованием устройства на основе многоуровневой коммутационной сети *baseline*;

– любые параллельные инструкции *deposit* размещения битов и подслов данных в заданных позициях машинного слова могут быть осуществлены с использованием однократного преобразования обратного упорядоченному разбиению входных данных на два подмножества с использованием устройства *ВСТАМ* и наложения битовой маски на выходные данные;

– любые инструкции *grp* могут быть осуществлены путем однократного параллельного использования двух устройств *ВСТАМ*, обеспечивающих упорядоченные разбиения входных данных на два подмножества.

На базе модуля *GRPM-64*, осуществляющего предложенные в работе инструкции *gprm* и *bsn*, было разработано универсальное устройство манипуляций с битами и подсловами данных с поддержкой инструкций *bsn*, *grp*, *gprm*, *rex.v*, *pdep.v*, *rex*, *pdep*, *shift*, *rotate*. Время выполнения инструкций составляло от $12\tau_3$ до $22\tau_3$ без организации конвейерной обработки.

Проведенный в работе сравнительный анализ свидетельствует, что разработанное устройство имеет преимущества над существующими модулями перестановок с точки зрения быстродействия и сложности аппаратурного исполнения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hilewitz Y. Advanced bit manipulation instructions : architecture, implementation and applications. URL : http://www.engr.uconn.edu/~zshi/course/cse5095/ref/yhilewitz_thesis.pdf (дата обращения : 20.10.2010).

2. Hilewitz Y., Shi Z.J., Lee R.B. Comparing Fast Implementations of Bit Permutation Instruction. URL : http://palms.ee.princeton.edu/PALMSopen/hilewitz04comparing_with_cit.pdf (дата обращения : 20.11.2010).

3. Hilewitz Y., Lee R.B. A New Basis for Shifters in General-Purpose Processors for Existing and Advanced Bit Manipulations // IEEE Transactions on Computing. 2009. Vol. 58, № 8. P.1035–1048.

4. Hilewitz Y., Lee R.B. Fast Bit Gather, Bit Scatter and Bit Permutation Instructions for Commodity Microprocessors / J. of Signal Processing Systems. 2008. Vol. 53, № 1–2. P. 145–169.

5. Pat. 7174014 US, H04K 1/00 (20060101), 380/28. Method and system for performing permutations with bit permutation instructions.

6. Pat. 6952478 US, G06F 7/76 (20060101), 380/37. Method and system for performing permutations using permutation instructions based on modified omega and flip stages.
7. Pat. 6922472 US, H04L 9/34 (20060101), 380/37. Method and system for performing permutations using permutation instructions based on butterfly networks.
8. Pat. 6381690 US, G06F 7/76 (20060101), 712/223. Processor for performing subword permutations and combinations.
9. *Benes V.E.* Mathematical Theory of Connecting Networks and Telephone Traffic. N.Y., 1965. 333 p.
10. *Lee K. Y.* A new Benes network control algorithm // IEEE Transactions on Computers. 1987. Vol. 36, № 6. P. 768–772.
11. *Shi Z., Lee R. B.* Bit Permutation Instructions for Accelerating Software Cryptography. URL : <http://palms.ee.princeton.edu/PALMSopen/shi00bit.pdf> (дата обращения : 20.11.2010).
12. *Lee R. B., Shi Z., Yang X.* Efficient Permutation Instructions for Fast Software Cryptography // IEEE Micro. 2001. Vol. 21, № 6. P. 56–69.
13. *Hennessy J. L., Patterson D. A.* Solution manual to Computer Architecture. A Quantitative Approach. SF, 2007. 705 p.
14. *Молодченко Ж. А., Сотов Л. С., Харин В. Н.* Модели аппаратных функциональных формирователей перестановок // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. Т. 7, № 10. С. 78–85.
15. *Соболев С. С., Сотов Л. С., Харин В. Н.* Модели устройств кросс-кластерных перестановок данных в ЭВМ // Вестн. компьютерных и информационных технологий. 2009. № 12. С. 51–55.
16. *Сотов Л. С.* Комбинаторная модель функционального формирователя разбиений бинарного множества // Информационные технологии. 2010. № 10. С. 46–52.
17. Pat. 5175539 US, H04Q 3/68, H04Q 3/64, H04J 003/00. Interconnecting network.
18. *Hwang F. K., Hwang F.* The Mathematical Theory of Nonblocking Switching Networks. NJ., 2004. 200 p.
19. *Ляшенко А. В., Сотов Л. С.* Простой матричный формирователь r -выборки // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов, 2010. Вып. 8 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Системы информационной безопасности. Прикладные аспекты. С. 47–56.
20. *Рабан Ж. М., Чандракасан А., Николич Б.* Цифровые интегральные схемы // Методология проектирования. М., 2007. 912 с.
21. *Хамахер К., Вранешич З., Заки С.* Организация ЭВМ. СПб.; Киев, 2003. С. 668-675.
22. *Shi Z.J., Lee R.B.* Implementation Complexity of Bit Permutation Instructions. URL : http://palms.princeton.edu/system/files/shi_asiloma_03.pdf (дата обращения : 20.11.2010).
23. *Hilewitz Y., Shi Z.J., Lee R.B.* Comparing Fast Implementations of Bit Permutation Instructions. URL : http://palms.ee.princeton.edu/PALMSopen/hilewitz04comparing_with_cit.pdf (дата обращения : 20.11.2010).

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ
ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ДАТЧИКА ВИБРАЦИЙ
НА ОСНОВЕ СВЧ-ФЕРРОРЕЗОНАНСНОГО АВТОГЕНЕРАТОРА**

С. В. Овчинников, Л. С. Сотов

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail : omf@sgu.ru

Рассмотрена возможность использования СВЧ-автогенератора с частотой, управляемой магнитным полем, в качестве первичного преобразователя для датчика вибраций. На основе модели упругого подвеса инерционного тела в виде тонкой мембраны получены соотношения между параметрами мембраны и демпфированием, с помощью которых можно определить требования к магнитной системе генератора и параметрам демпфирования, оценить чувствительность преобразования частота вибрации – частота генерации.

Ключевые слова : датчик вибрации, СВЧ-автогенератор, колебательная система, чувствительность преобразования.

**The Estimated Technique of Sensitivity of the Primary Converter
for the Vibrations Sensor on the Basis of Microwave Ferromagnetic Resonance
Self-Excited Oscillator**

S. V. Ovchinnikov, L. S. Sotov

Possibility of use of the microwave self-excited oscillator with the frequency, operated by magnetic field, as the primary converter for the gauge of vibrations is considered. On the basis of the model of the elastic suspension of the inert body in the form of thin membrane, are obtained the relationships between the parameters of the membrane and the damping, with the aid of which it is possible to determine requirements for the magnetic system of generator, requirement for the parameters of damping and to estimate the sensitivity of conversion vibration frequency – oscillation frequency.

Key words : vibration sensor, microwave self-excited oscillator, oscillatory system, sensitivity of conversion.

В настоящей работе рассматривается возможность использования СВЧ-феррорезонансного автогенератора [1] в качестве первичного преобразователя физической величины (далее ППФВ) для датчика вибраций (механических колебаний). Генератор представляет собой твердотельную систему, которая содержит транзисторный усилитель (обычно на основе полевого транзистора с барьером Шотки) и специфический элемент обратной связи, в состав которого входит ферритовый ЖИГ (железо-иттриевый гранат) резонатор в виде сферы или пленочного феррита. Кроме того, в состав генератора входит постоянный магнит, предназначенный для создания ин-

дукции магнитного поля заданного диапазона в области ферритового резонатора (поле подмагничивания).

Рабочая частота генератора определяется частотой ферромагнитного резонанса в резонаторе и, следовательно, индукцией результирующего магнитного поля в области резонатора. Поэтому если постоянный магнит в генераторе закрепить на упругом подвесе, то генератор сможет служить преобразователем вибрации и ударов. Рассматриваемый ППФВ следует отнести к измерителям вибрации инерционного действия, так как основной причиной изменения частоты генерации является перемещение чувствительного элемента (ЖИГ-резонатора) относительно инерционного элемента (постоянного магнита). Очевидно, что чувствительность такого ППФВ будет определяться чувствительностью колебательной системы и чувствительностью автогенератора к изменению индукции результирующего магнитного поля.

Различные типы колебательных процессов, которые должны быть отслежены ППФВ, требуют в общем случае различных соотношений между упругостью подвеса и силой вязкого трения. Другими словами, упругие подвесы, предназначенные для регистрации различных типов вибраций, должны обладать соответствующими добротностями. Известно [2], что упругий элемент в ППФВ для датчика ударов должен иметь низкую добротность (порядка 1–10), а упругий элемент в ППФВ датчика вибраций должен иметь более высокую добротность для того, чтобы снимать спектр механических колебаний с малыми фазовыми искажениями.

Рассмотрим идеализированную колебательную систему, в которой упругий подвес можно считать линейной системой с сосредоточенными параметрами : массой магнита m ; коэффициентом упругости k ; коэффициентом силы вязкого трения χ . Такая система с одной степенью свободы в относительных координатах u описывается следующим уравнением :

$$\frac{d^2u}{dt^2} + 2\beta \frac{du}{dt} + \omega_0^2 u = -\frac{d^2s}{dt^2}, \quad (1)$$

где $s = s(t)$ – вибрационное смещение точки подвеса в направлении оси u , являющееся заданной функцией времени; u – деформация упругого элемента подвеса (смещение центра масс от положения равновесия относительно точки подвеса); $\beta = \frac{\chi}{2m}$; $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$.

Такое идеализированное рассмотрение допускается при следующих ограничениях :

– обратное действие ППФВ на исследуемый объект настолько незначительно, что этим действием можно пренебречь;

– исследуемые колебания объекта ограничены, а упругий элемент ППФВ сконструирован так, чтобы его деформации могли быть достаточно большими без нарушения предела пропорциональности;

– габариты ППФВ достаточно малы по сравнению с длиной акустической волны деформации, так что в каждый данный момент фаза возмущающего процесса (измеряемой вибрации) в объеме, занимаемом автогенератором, может считаться одной и той же. Таким образом, безразлично, какую точку генератора принимать за измеряющую. Поэтому условно принимаем за точку отсчета центр масс ЖИГ-резонатора;

– полезной частью отклика ППФВ на возмущающий сигнал считают только вынужденные колебания инерционного элемента.

Пусть ставится задача измерения вибрации с правильной передачей ее спектра в диапазоне от самой низкой частоты Ω_H до самой высокой Ω_B , причем в комплексной форме функция

$$\bar{s}(t) = \bar{s}_a e^{i\Omega t} \quad (2)$$

является одной из составляющих этого спектра, где i – мнимая единица, а Ω – частота, удовлетворяющая условию

$$\Omega_H < \Omega < \Omega_B. \quad (3)$$

Тогда частное решение уравнения (1) имеет вид $\bar{u}(t) = \bar{u}_0 e^{i\Omega t}$. При подстановке этого решения в (2) будем иметь

$$[(i\Omega)^2 m + i\Omega\chi + k] \bar{u}_a = -(i\Omega)^2 m \bar{s}_a. \quad (4)$$

Здесь \bar{s}_a – комплексное амплитудное значение гармонической составляющей вибрации с частотой Ω ; \bar{u}_a – комплексное амплитудное значение отклика системы.

Слагаемые левой части соотношения (4) можно рассматривать как три условных вектора, длины которых пропорциональны множителям $\Omega^2 m$, $\Omega\chi$ и k .

Для правильного восприятия всего спектра вибрации ее отображение $u(t)$ должно иметь такую же форму, как и сама вибрация. При этом очень важно, что принять за сигнал: $s(t)$, $\frac{ds}{dt}$ или $\frac{d^2s}{dt^2}$. На практике в зависимости от решаемой задачи может встретиться любой из этих случаев. Для проведения измерений в каждом из них требуется указать наиболее рациональ-

ные соотношения между отмеченными выше векторами из (4), т.е. предъявить соответствующие требования к параметрам m , k и χ колебательной системы ППФВ. Совокупность рационально выбранных значений данных параметров определяет следующие три режима работы датчика.

Первый режим. Если требуется измерить смещение при колебательном процессе, то отклик $u(t)$ должен отображать величину $s(t)$. Из [2] известно, что в этом случае чувствительность измерительного прибора к смещению по смещению определяется выражением

$$\bar{\theta}_{s,u} = \frac{\bar{u}_a}{\bar{s}_a} = \frac{-(i\Omega)^2 m}{(i\Omega)^2 m + i\Omega\chi + k} = \rho_{s,u} e^{-i\delta_{s,u}}, \quad (5)$$

где $\theta_{s,u} = \frac{\Omega^2 m}{\sqrt{(k - \Omega^2 m)^2 + \Omega^2 \chi^2}}$ определяет амплитудно-частотную, а

$\delta_{s,u} = \arctg \frac{\Omega\chi}{k - \Omega^2 m}$ – фазо-частотную характеристики системы.

Чтобы отклик $u(t)$ и сигнал $s(t)$ при одинаковом масштабе времени имели одинаковую форму, их амплитудные спектры должны быть одинаковыми или отличаться на постоянный множитель. Для этого необходимо, чтобы

$$\theta_{s,u} = \text{const} > 0; \delta_{s,u} = \pm \tau \Omega \pm \pi n, \quad (6)$$

где $\tau \geq 0; n = 0, 1, 2, \dots$.

Условия (6) могут быть выполнены в двух случаях :

а) если каждая из частот $\Omega \in [\Omega_H, \Omega_B]$ спектра вибраций значительно превосходит собственную частоту ω_0 колебательной системы прибора ($\Omega_H \gg \omega_0$), то при небольшом демпфировании ($2\beta \ll \Omega$) модуль вектора, пропорциональный $\Omega^2 m$, значительно превосходит модули двух остальных из (4), поэтому

$$\rho_{s,u} = 1; \delta_{s,u} = \pi;$$

б) с увеличением демпфирования до значения $\varepsilon = \frac{\omega_0 h}{k} = 1 \div 1,7$ требования (6) выполняются, если диапазон $[\Omega_H, \Omega_B]$ не широк, а собственная частота ω_0 лежит внутри или вблизи этого диапазона.

Отметим, что условие $2\beta \ll \Omega$ (или $\varepsilon \ll \frac{\Omega}{\omega_0}$), обеспечивающее пропорциональность отклика исходному сигналу, в случае анализа ударных

процессов становится технически неудобным, так как в начале и в конце таких процессов собственные слабо затухающие колебания упругого подвеса существенно искажат форму отклика.

Второй режим. Для измерения скорости колебательного процесса отклик прибора $u(t)$ должен быть пропорционален величине $\frac{ds}{dt} = \dot{s}$.

В этом случае соотношение (4) переписывается в виде

$$[(i\Omega)^2 m + i\Omega\chi + k] \cdot \bar{u}_a = -i\Omega m \bar{\dot{s}}_a.$$

Чувствительность прибора к скорости по смещению определяется отношением

$$\bar{\theta}_{\dot{s},u} = \frac{\bar{u}_a}{\bar{\dot{s}}_a} = \frac{-i\Omega m}{(i\Omega)^2 m + i\Omega\chi + k} = \rho_{\dot{s},u} e^{-i\delta_{\dot{s},u}}, \quad (7)$$

где $\theta_{s,u} = \frac{\Omega m}{\sqrt{(k - \Omega^2 m)^2 + \Omega^2 \chi^2}}$ определяет амплитудно-частотную, а

$\delta_{\dot{s},u} = -\arctg \frac{k - \Omega^2 m}{\Omega \chi}$ – фазо-частотную характеристики системы.

Пропорциональность отклика $u(t)$ скорости $\dot{s}(t)$ колебательного процесса возможна в случае, когда собственная частота ω_0 упругого подвеса близка к диапазону $[\Omega_H, \Omega_B]$ частот вибрации (в частности, попадает внутрь этого диапазона) и когда имеется сильное демпфирование

$$2\Omega\beta \gg |\omega_0^2 - \Omega^2|,$$

где, как и раньше, $\Omega \in [\Omega_H, \Omega_B]$.

В этом случае длина вектора, пропорциональная величине $\Omega\chi$, много больше длины двух других векторов, поэтому

$$\theta_{\dot{s},u} = \frac{k}{\omega_0 \chi}; \quad \delta_{\dot{s},u} = \pi. \quad (8)$$

Формулы (7), (8) показывают, что с увеличением демпфирования происходит расширение частотного диапазона измеряемого спектра вибрации, однако при этом чувствительность прибора падает.

Третий режим. Для измерения ускорения колебательного процесса отклик $u(t)$ должен отображать величину $\frac{d^2 s}{dt^2} = \ddot{s}(t)$.

Соотношение (4) в таком случае переписывается в виде

$$[(i\Omega)^2 m + i\Omega\chi + k] \bar{u}_a = -m \bar{\ddot{s}}_a, \quad (9)$$

откуда чувствительность прибора к ускорению по смещению

$$\bar{\theta}_{\ddot{s},u} = \frac{\bar{u}_a}{\bar{s}_a} = \frac{-m}{(i\Omega)^2 m + i\Omega\chi + k} = \rho_{\ddot{s},u} e^{-i\delta_{\ddot{s},u}}, \quad (10)$$

где $\theta_{\ddot{s},u} = \frac{m}{\sqrt{(k - \Omega^2 m)^2 + \Omega^2 \chi^2}}$ определяет амплитудно-частотную, а

$\delta_{\ddot{s},u} = \arctg \frac{\Omega\chi}{k - \Omega^2 m}$ – фазо-частотную характеристики системы.

Пропорциональность отклика $u(t)$ ускорению $\ddot{s}(t)$ возможна, если собственная частота ω_0 упругого подвеса значительно выше всех частот спектра вибрации : $\omega_0 \gg \Omega \in [\Omega_H, \Omega_B]$, а затухание невелико : $2\beta\Omega \ll \omega_0^2$.

При этих условиях модуль вектора, пропорциональный k из (9), значительно превосходит два остальные :

$$\theta_{\ddot{s},u} = \frac{1}{\omega_0^2}; \quad \delta_{\ddot{s},u} = -\pi. \quad (11)$$

Формулы (4)–(11) дают возможность предварительной оценки требований, предъявляемых к материалу и конструкции упругого подвеса магнита в ППФВ датчика.

Для проведения такого предварительного анализа желательно знать, по какой временной зависимости происходит смещение $u(t)$ магнита относительно центра инерции ферритового резонатора при заданном внешнем воздействии. В качестве примера рассмотрим задачу о колебаниях подвеса с магнитом как реакцию на ударное воздействие.

Наиболее простым видом упругого подвеса магнита в рассматриваемом ППФВ является плоская пластинка (мембрана) из немагнитного материала прямоугольной или круглой формы (в зависимости от конструкции корпуса ППФВ), в центре которой закреплен постоянный магнит системы подмагничивания.

Пусть упругий элемент подвеса имеет вид плоской круглой однородной мембраны, в центре которой жестко закреплен магнит массы m . Радиус мембраны R , толщина h , плотность материала ρ , модуль упругости материала E . Малая центральная область мембраны с радиусом r_0 – площадка крепления магнита. Периметр пластинки считаем жестко закрепленным. Мембрана ориентирована горизонтально, поэтому поле силы тяжести направлено перпендикулярно к плоскости мембраны.

Для оценочных расчетов мы предполагаем, что конструкция ППФВ абсолютно жесткая (за исключением подвеса инерционного элемента – самой мембраны). При внешнем воздействии закрепленный периметр мем-

браны смещается вместе с ППФВ. Тогда можно считать, что при ударном воздействии в мембране возникают колебания под действием инерционных сил. Это дает возможность упростить математическую постановку задачи путем задания нулевых начальных условий на смещение и скорость смещения.

Обозначим через $u = u(r, t)$ смещение во времени t кольцевого элемента мембраны с координатой и площадью $2\pi r dr$ в направлении, перпендикулярном к её плоскости. Во время удара, направление которого считаем перпендикулярным к плоскости мембраны, на каждый ее элемент действует внешняя сила, пропорциональная массе этого элемента и ускорению, которое одинаково для всей системы. Внешнее воздействие, приведенное к единице площади мембраны, зададим соотношением

$$P(r, t) = \left\{ \rho h + \begin{cases} \frac{m}{\pi r_0^2}, & r \leq r_0 \\ 0, & r > r_0 \end{cases} \right\} \cdot a_{\max} f(t), \quad (12)$$

где a_{\max} – амплитудное значение ускорения силы инерции; $f(t)$ – некоторая функция, характеризующая изменение инерционной силы во времени.

Для моделирования одиночного удара функцию $f(t)$ представим в виде одиночного прямоугольного импульса единичной высоты

$$f(t) = \begin{cases} 1, & 0 < t \leq \tau_u, \\ 0, & t > \tau_u, \end{cases} \quad (13)$$

где τ_u – длительность импульса.

Отметим, что такое модельное представление справедливо только для малого значения τ_u .

Демпфирование учтем с помощью гипотезы, что величина силы внешнего трения $p_{\text{тр}}$, приведенная к единице площади мембраны, пропорциональна скорости прогиба мембраны в данной точке

$$p_{\text{тр}} = -2\chi \frac{du}{dt},$$

где $\chi \left(\frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{М}^3} \right)$ – приведенный к единице площади коэффициент силы трения.

Тогда в соответствии с [3] и оговоренными выше упрощениями колебания в тонкой мембране описываются следующей краевой задачей :

$$\rho h \frac{d^2 u}{dt^2} + 2\chi \frac{du}{dt} = Eh \left(\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} \right) + P(r, t), \quad (14)$$

с краевыми условиями $u(t)|_{r=R} = 0$; $u(r)|_{t=0} = 0$; $\frac{\partial u(r)}{\partial t}|_{t=0} = 0$.

Решение данной задачи найдем в виде

$$u(r, t) = \sum_{n=1}^{\infty} u_n(t) J_0 \left(\mu_n \frac{r}{R} \right), \quad (15)$$

где $u_n(t) = \int_0^R u(r, t) K_n(r) dr$ определяется из решения обыкновенного дифференциального уравнения при нулевых начальных условиях

$$\frac{\partial^2 u_n}{\partial t^2} + 2\beta \frac{\partial u_n}{\partial t} + c^2 \mu_n^2 u_n = \frac{P_n(t)}{\rho h}, \quad (16)$$

где $c^2 = \frac{E}{\rho}$; $2\beta = \frac{2\chi}{\rho h}$; μ_n – положительные корни уравнения $J_0(\mu) = 0$;

$$P_n(t) = \int_0^R P(r, t) K_n(r) dr; \quad K_n(r) = \frac{2}{R^2} \frac{1}{J_1^2(\mu_n)} r J_0(\mu_n r / R);$$

J_0 и J_1 – функции Бесселя 1-го рода нулевого и первого порядков.

Тогда в общем случае

$$u_n(t) = \frac{2}{\gamma_n} \int_0^t \frac{P_n(\tau)}{\rho h} \cdot \exp[\beta(\tau - t)] \cdot \sin \left[\frac{\gamma_n}{2} (t - \tau) \right] d\tau,$$

где $\gamma_n^2 = 4c^2 \frac{\mu_n^2}{R^2} - 4\beta^2$.

Для колебательного движения мембраны необходимо, чтобы $\gamma_n^2 > 0$, поэтому на пространственно-механические характеристики мембраны необходимо наложить следующее требование :

$$\frac{E\rho}{\chi^2} > \frac{R^2}{\mu_1^2 h^2} \approx \left(\frac{R}{2,4h} \right)^2, \quad (17)$$

так как $\mu_1 = 2,4048$.

В случае если $P(r, t)$ моделирует удар в виде (12), (13), то

$$\begin{aligned}
u_n(t) = & \frac{8a_{\max}}{\gamma_n^2(\mu_n)J_1(\mu_n)\left(\frac{4\beta^2}{\gamma_n^2} + 1\right)} \left\{ 1 + \frac{m}{\pi r_0^2 \rho h} \frac{r_0 J_1(\mu_n r_0 / R)}{R J_1(\mu_n)} \right\} \times \\
& \times \exp(-\beta t) \left\{ \sin\left(\frac{\gamma_n t}{2}\right) \left[\exp(\beta \tau_u) \cdot \left[\frac{2\beta}{\gamma_n} \cos\left(\frac{\gamma_n \tau_u}{2}\right) + \sin\left(\frac{\gamma_n \tau_u}{2}\right) \right] - \right. \right. \\
& \left. \left. - \frac{2\beta}{\gamma_n} - \cos\left(\frac{\gamma_n t}{2}\right) \right] \exp(\beta \tau_u) \cdot \left[\frac{2\beta}{\gamma_n} \sin\left(\frac{\gamma_n \tau_u}{2}\right) - \cos\left(\frac{\gamma_n \tau_u}{2}\right) \right] + 1 \right\}. \quad (18)
\end{aligned}$$

Сравнивая (16) с уравнением (1), можно сделать вывод о том, что пространственная гармоника $u_n(t)$ с частотой $\omega_{0n} = c\mu_n$ есть реакция на пространственную гармонику s_n смещения периметра мембраны, определяемую уравнением $\frac{d^2 s_n}{dt^2} = -\frac{P_n(t)}{\rho h}$. Тогда чувствительность тонкой симметричной мембраны к смещению магнита относительно корпуса можно оценить выражением, аналогичным (6) :

$$\theta_{s,u} = 2 \frac{\sum_{n=1}^{\infty} u_n(t)}{a_{\max} \tau_u^2}, \quad (19)$$

а чувствительность мембраны к ускорению по смещению корпуса – выражением, аналогичным (10) :

$$\theta_{\ddot{s},u} = \rho h \frac{\sum_{n=1}^{\infty} u_n(t)}{\sum_{n=1}^{\infty} P_n(t)}, \quad (20)$$

где $\frac{P_n(t)}{\rho h} = \frac{2a_{\max} f(t)}{\mu_n J_1(\mu_n)} \left\{ 1 + \frac{m}{\pi r_0^2 \rho h} \frac{r_0 J_1(\mu_n r_0 / R)}{R J_1(\mu_n)} \right\}$.

Как известно [2, 4], имеется большое разнообразие в конструкциях колебательных систем для приборов инерционного действия. Выбор конкретной системы подвеса магнита в ППФВ в нашем случае должен быть обусловлен предназначением датчика.

Однако в любой ситуации информационным сигналом ППФВ будет изменение частоты генерации, обусловленное изменением поля подмагничивания ЖИГ-резонатора за счет изменения расстояния между ним и магнитом.

Теоретическая зависимость частоты ферромагнитного резонанса от индукции приложенного магнитного поля является линейной

$$f = K \cdot B, \quad (21)$$

где $K = 28$ Гц/нТл – гиромагнитное отношение для электрона; B – индукция магнитного поля в области ЖИГ-резонатора.

Пусть магнит системы подмагничивания имеет дискообразную форму и пусть его магнитное поле изменяется с расстоянием r по его оси аналогично полю диполя

$$B(r) = B_M \frac{\alpha}{r^3}, \quad (22)$$

где B_M – индукция магнитного поля на торцевой поверхности магнита; α – некоторый размерный коэффициент.

Обозначим через r_0 исходное расстояние между магнитом и ЖИГ-резонатором. Тогда в силу механического воздействия расстояние между магнитом и ЖИГ-резонатором меняется по закону $r = r_0 + u(t)$, где $u(t)$ определяется по формуле (15). Поэтому функцию преобразования магнитной индукции в частоту генерации f можно записать в виде

$$f = K \frac{\alpha B_M}{r_0^3} \cdot \frac{1}{\frac{u^3}{r_0^3} + 3 \frac{u^2}{r_0^2} + 3 \frac{u}{r_0} + 1},$$

а отклонение частоты генерации Δf за счет возмущения поля можно оценить величиной

$$\Delta f = f(r_0) - f(r) = K \frac{\alpha B_M}{r_0^3} \cdot \frac{\frac{u^3}{r_0^3} + 3 \frac{u^2}{r_0^2} + 3 \frac{u}{r_0}}{\frac{u^3}{r_0^3} + 3 \frac{u^2}{r_0^2} + 3 \frac{u}{r_0} + 1}. \quad (23)$$

Величина Δf , определяемая (23), характеризует предельную чувствительность СВЧ-генератора ППФВ к возмущению поля подмагничивания за счет внешнего воздействия. На основе выражения (23) можно оценить требования к характеристикам магнитной системы генератора: геометрии, намагничиванию магнита и максимально возможному отклонению магнита от положения равновесия.

Таким образом, представленный материал дает возможность определить требования к характеристикам магнитной системы генератора, системе упругого подвеса магнита и условиям демпфирования в зависимости от предъявляемых к ППФВ требований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Игнатьев А. А., Солопов А. А., Сотов Л. С., Тугушов Д. В., Страхова Л. Л.* Моделирование режимов генерации субгармонических составляющих в генераторах с магнитоэлектронным взаимодействием // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. докл. и ст. науч.-техн. совещ. Вып.1. Многофункциональные комплексированные устройства и системы СВЧ- и КВЧ-диапазонов. Саратов, 2004. С. 84–100.

2. *Иорши Ю. И.* Виброметрия. Измерение вибрации и ударов // Общая теория, методы и приборы. М., 1963. 772 с.

3. *Кошляков Н. С., Глинер Э. Б., Смирнов М. М.* Уравнения в частных производных математической физики. М., 1970. 712 с.

4. Проектирование датчиков для измерения механических величин / под ред. Е. П. Осадчего. М., 1979. 480 с.

УДК 681.5, 519.85

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ КОМАНД ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФОРМАТОВ ДАННЫХ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Л. С. Сотов

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail : slskit@mail.ru

В статье проводится обзор задач, на которых показана эффективность использования специальных инструкций преобразования форматов данных, служащих основой увеличения производительности средств вычислительной техники при манипуляции с битами и подсловами данных.

Ключевые слова : формат данных, перестановки, разбиения, манипуляции с битами, микропроцессоры, увеличение производительности.

On the Effectiveness of the use of Special Instructions of the Data Formats Transformation in the Computer

L. S. Sotov

The article is the survey of the algorithms, on which is shown the performance of the use of special instructions of the data format transformation, that are the basis of an increase in the productivity of the computer during the manipulation with the bits and subword of data.

Key words : data format, permutations, partitions, bit manipulations, microprocessors, bits and subword of data, algorithm acceleration.

При решении обширного круга задач обработки информации в вычислительной технике часто возникает проблема формирования изоморф-

ных представлений или преобразования форматов данных, представленных в виде двоичных наборов. В контексте булевой алгебры двоичный набор объединяет в упорядоченном виде нулевые и единичные значения некоторого множества булевых переменных. Если считать, что $[x_1 x_2 \dots x_n]$ – это набор, состоящий из всех элементов множества $\{x_1, x_2 \dots x_n\}$, где x_1-x_n – двоичные переменные, то при замене переменных на их значения образуется двоичный набор [1]. В общем случае он может рассматриваться как слово в алфавите $\{0,1\}$. Формат данных представляется в виде набора переменных, очерёдность следования которых предопределяет значения этих переменных в соответствующем двоичном наборе. Процедура формирования изоморфных представлений данных в вычислительной технике может рассматриваться как выполнение преобразований перестановки (подстановки) бинарных наборов данных.

Битовые перестановки сложны для программной реализации, так как обычные микропроцессоры работают с машинными словами.

Для выполнения произвольных перестановок с использованием RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) ISA (*Instruction Set Architecture*) [2] требуется выполнение $4n$ инструкций, включающих генерацию маски, побитовую конъюнкцию (операцию И), сдвиг, побитовую дизъюнкцию (операцию ИЛИ) для перемещения каждого бита машинного слова. Для осуществления битовой перестановки 64-разрядного набора данных требуется выполнение 256 процессорных инструкций. При использовании команд *extr* и *dep* [3, 4] требуется выполнение $2n$ инструкций.

Целью данной работы является обзор задач, на которых показана эффективность использования специальных инструкций преобразования форматов данных, служащих основой увеличения производительности средств вычислительной техники при манипуляции с битами и подсловами данных.

При этом рассматриваются команды RISC ISA и команды, реализующие ускоренное преобразование форматов данных. В данной статье, имеющей в значительной степени обзорный характер, приведены примеры задач, на которых показана эффективность использования инструкций *grp* (*Group*) и *bsn* (*Baseline*) для преобразования форматов данных. Отмечено, что устройства аппаратной поддержки данных инструкций могут быть объединены в один модуль, имеющий аппаратную сложность $O(n \log_2 n)$ [5, 6].

Основными преимуществами использования команд преобразования форматов являются *параллельная обработка* блока данных, например машинного слова, и связанное с этим повышение производительности вычислительного устройства, которое для отдельных задач может составлять до двух порядков.

Устройства преобразования форматов данных имеют широкий спектр применения. Некоторые задачи, решение которых наиболее эффективно с использованием аппаратных устройств преобразования форматов данных, представлены на рис. 1.



Рис. 1. Структура задач, эффективно решаемых с использованием устройств преобразования форматов данных

Инструкция *bsn* предназначена для осуществления преобразований перестановки с использованием топологий сети *baseline* [7]. Схема устройства для реализации команды *bsn* в 16-разрядном процессоре представлена на рис. 2. Устройство состоит из переключателей, соединенных в соответствии с топологией *baseline*. В зависимости от бинарного управляющего сигнала, подаваемого на вход С, переключатели осуществляют функцию передачи входных данных X_1, X_2 к выходам Y_1, Y_2 с использованием транспозиции или без. Любую перестановку входных данных можно реализовать с использованием двух инструкций *bsn*.

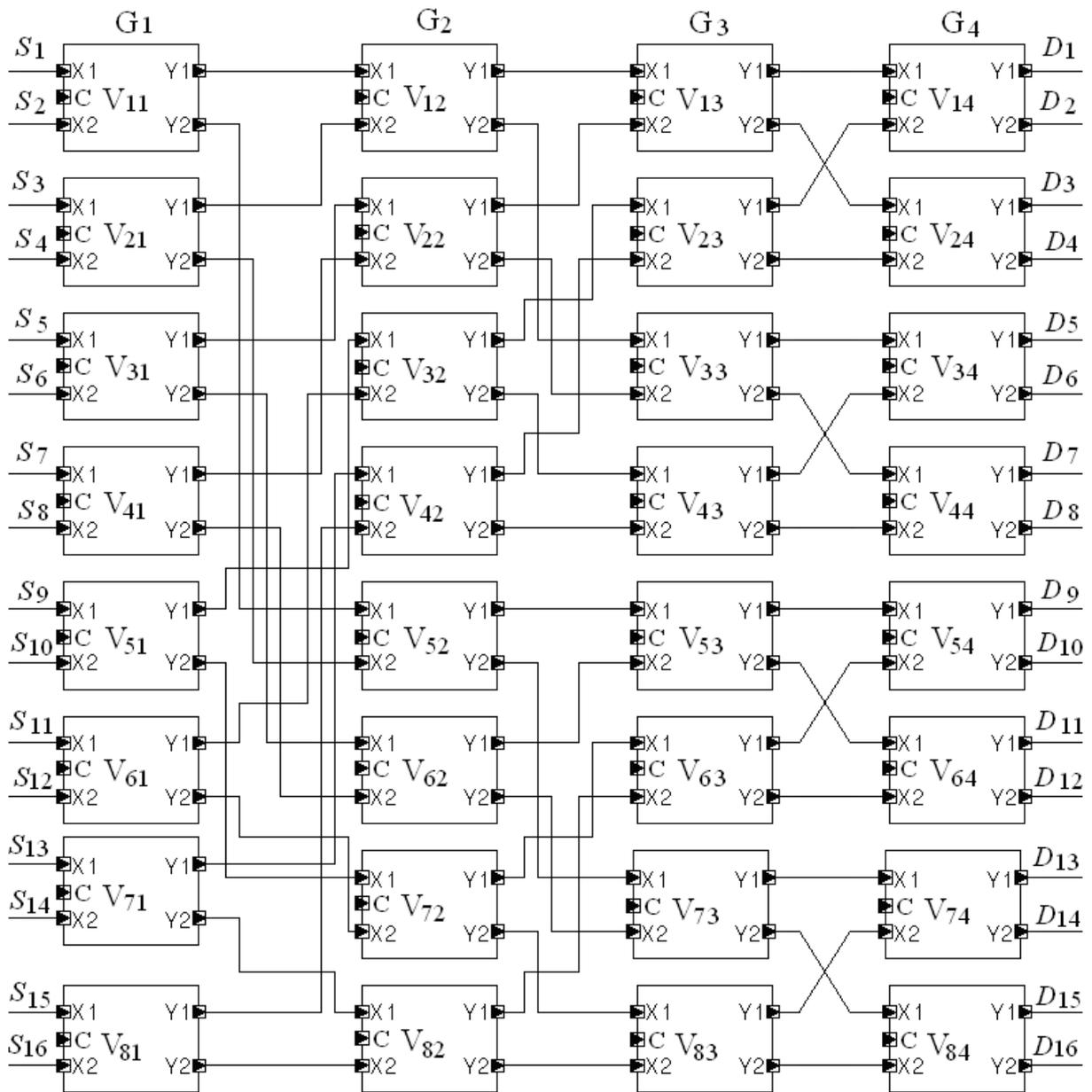


Рис. 2. Устройство, осуществляющее инструкцию *bsn*

Формат команды : $bsn\ r_1 = r_2, ar.ib_1, ar.ib_2, ar.ib_3$, где r_2 – регистр входных данных; r_1 – регистр выходных данных. В специальных регистрах $ar.ib_1, ar.ib_2, ar.ib_3$ содержатся биты конфигурации. Для управления перестановкой необходимо $n/2 \log_2 n$ бит конфигурации. Таким образом, при использовании процессора с длиной слова $n = 64$ требуется три регистра. Если в архитектуре процессора поддерживается не более трёх входных операндов, операция *bsn* может выполняться с использованием двух инструкций $bsn_c\ r_1, r_2, r_3$, где в регистрах r_2, r_3 содержатся биты конфигурации, и $bsn_e\ r_1 = r_2, r_3$, где в регистре r_3 содержатся биты конфигурации, а r_2 и r_1 – регистры входных и выходных данных.

Инструкция *grp* (*Group*) была предложена и описана в [8, 9]. Диаграмма, иллюстрирующая перестановку бинарных данных, выполняемую с использованием инструкции *grp*, представлена на рис. 3. Семантика записи инструкции – *grp* r_1, r_2, r_3 , где r_1 – регистр назначения, r_2 – регистр входных данных, r_3 – регистр конфигурации, содержащий управляющий код. В результате осуществления инструкции биты регистра r_2 , которым соответствует единичный бит регистра r_3 , перемещаются в правую половину регистра r_1 , причем среди перемещенных битов сохраняется исходный порядок.

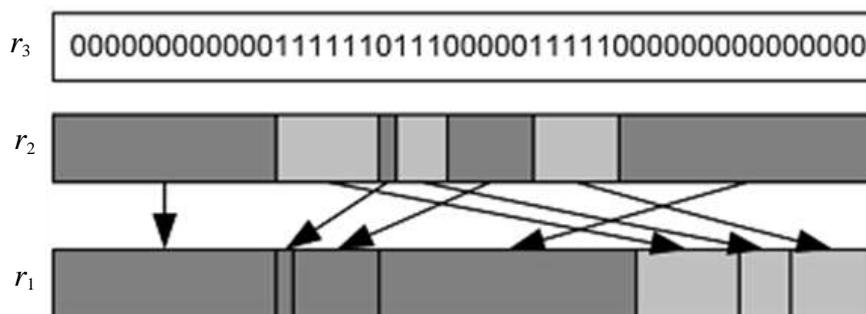


Рис. 3. Иллюстрация действия инструкции *grp* по данным [10]

Любую перестановку набора данных из n элементов можно реализовать с использованием $\log_2 n$ инструкций *grp*. Инструкция *grp* является очень эффективной, но, как показано в [11], существующие устройства аппаратной поддержки данной инструкции имеют значительную латентность, и команда *grp* выполняется за два цикла процессора. В работе [5] предложено устройство, позволяющее выполнить инструкцию *grp* за один цикл процессора.

Проведём обзор некоторых задач, в которых применение *bsn* и *grp* инструкций является наиболее эффективным.

Сортировка. Использование инструкций *grp* позволяет существенно увеличить скорость выполнения сортировки целых чисел. Результаты расчетов ускорения сортировки по данным [12] приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

**Результаты расчета ускорения сортировки данных,
упакованных в регистр длиной 64 бит**

Размер подслов, бит	4	8	4
Число подслов в регистре	16	8	16
Пузырьковая сортировка	89,9	12,2	1,7
Сортировка выбором	65,5	9,8	1,4
Сортировка слиянием	63,1	14,3	3,5

Результаты расчета ускорения сортировки 64 подслов данных

Размер подслов, бит	4	8	16
Пузырьковая сортировка	408,3	128,9	43,7
Сортировка выбором	272,7	86,1	29,2
Сортировка слиянием	104,4	32,8	12,1

Исследовались четыре алгоритма : пузырьковая сортировка, сортировка выбором, сортировка слиянием и сортировка с использованием инструкции *grp*.

Алгоритм пузырьковой сортировки состоит в повторяющихся проходах по сортируемому массиву. За каждый проход элементы последовательно сравниваются попарно, и если порядок в паре неверный, выполняется обмен элементов. Проходы по массиву повторяются до тех пор, пока на очередном проходе не окажется, что обмены больше не нужны. Это означает – массив отсортирован.

Сложность алгоритма сортировки выбором составляет $O(n^2)$, где n – длина сортируемой последовательности. При этом выполняется поиск наименьшего или наибольшего элемента, затем его помещают в начало или конец упорядоченного списка.

Сложность алгоритма сортировки слиянием составляет $O(n \log n)$. Метод известен как один из быстрееших для упорядочения больших случайных списков путем разбиения исходного набора данных на две половины, применения процедуры сортировки к каждой из половин в отдельности и их слияния после сортировки.

Результаты расчета увеличения производительности сортировки с использованием инструкций *grp* приведены в табл. 1. Данные по пузырьковой сортировке и сортировке выбором взяты из [12]. Сортировались под слова длиной 4, 8 и 16 бит, расположенные в регистре длиной 64 бита.

При упорядочении 16-битных подслов получено минимальное увеличение производительности в 3,5 раза по сравнению с алгоритмом сортировки слиянием. При сортировке 4-битных подслов производительность возрастает более чем в 63 раза.

Результаты расчетов ускорения сортировки 64 подслов данных различного размера приведены в табл. 2. При этом сортируемые элементы представлялись 4-, 8- и 16-разрядными под словами. Минимальное увеличение производительности по сравнению с алгоритмом сортировки слиянием составляет более 12 раз.

При сортировке большого числа элементов использование *grp* инструкций также приводит к существенному ускорению. При этом для сортировки больших фрагментов могут использоваться стандартные алгоритмы

сортировки слиянием, а небольшие фрагменты сортируются с использованием инструкций *grp*. Результаты расчета увеличения скорости сортировки слиянием строки данных длиной N подслов данных размером m бит с использованием инструкций *grp* представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета ускорения сортировки N m -разрядных подслов данных

N	$m = 4$	$m = 8$	$m = 16$
128	6,9	6,8	6,4
256	4,0	3,9	3,8
512	3,0	3,0	2,9
1024	2,5	2,5	2,4
2048	2,2	2,2	2,2
4096	2,0	2,0	2,0
8192	1,9	1,8	1,8
16384	1,7	1,7	1,7
32768	1,7	1,7	1,6
65536	1,6	1,6	1,6
131072	1,5	1,5	1,5
262144	1,5	1,5	1,5
524288	1,5	1,5	1,5
1048576	1,4	1,4	1,4
2097152	1,4	1,4	1,4
4194304	1,4	1,4	1,4

Для оценки производительности использовалась инструкция *rdtsc*, возвращающая число циклов процессора с момента последней команды сброса.

С увеличением N эффективность использования инструкций *grp* уменьшается, так как все большая часть программы выполняется с использованием стандартной процедуры сортировки слиянием. Тем не менее, при длине сортируемой последовательности, содержащей более 4 млн элементов, ускорение за счет использования инструкции *grp* составляет 1,4 раза.

Таким образом, применение инструкций *grp* позволяет существенно увеличить скорость выполнения операций сортировки. Ускорение достигается за счет параллельного выполнения преобразований для небольших фрагментов сортируемых последовательностей.

Морфология изображений. Обработка морфологии изображений включает в себя такие процедуры, как перенос (*translation*), расширение (*dilation*), сужение (*erosion*) и производные от них – открытие (*opening*), закрытие (*closing*).

Для выполнения операций обработки изображений необходимо выделять их небольшие фрагменты, расположенные в памяти ЭВМ. Для определенности рассмотрим процедуру *bwmorph*, используемую в MATLAB [12]. Функция $BWd=bwmorph(BWs, operation)$ создает бинарное изображе-

ние BWd , подвергая обработке морфологическим фильтром *operation* исходное бинарное изображение BWs . Для обеих операций задается структурный элемент, который называют маской морфологического фильтра. Ненулевые значения в маске определяют, какие из соседних пикселей следует учитывать при осуществлении операции.

При сужении бинарного изображения пиксель исходного изображения сбрасывается на 0, если хотя бы один из пикселей окрестности, соответствующий ненулевому элементу маски, равен 0. При расширении бинарного изображения пиксель исходного изображения устанавливается равным 1, если хотя бы один из пикселей окрестности, соответствующий ненулевому элементу маски, равен 1. Данные правила применяются рекурсивно ко всем пикселям изображения.

В функции *bwmorph* в операциях сужения и расширения, а также в производных от них операциях (открытие, закрытие и т.д.) используются структурные элементы 3×3 вида :

$$\begin{bmatrix} 111 \\ 111 \\ 111 \end{bmatrix}.$$

Диаграмма [13], иллюстрирующая процедуру выделения структурных элементов фрагмента изображения, расположенного в 64-разрядном регистре процессора, представлена на рис. 4.

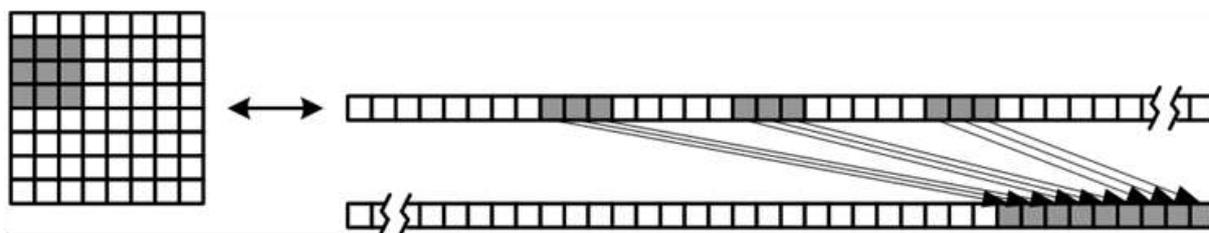


Рис. 4. Диаграмма, иллюстрирующая процедуру выделения битов изображения для осуществления операций сужения и расширения

Операция осуществляется с использованием одной инструкции *grp*. При использовании набора инструкций *and*, *shift*, *or* для выполнения данной операции требуется выполнение $3 \cdot 4 = 8$ инструкций, соответственно производительность увеличивается 8 раз.

Упаковка и распаковка данных. В задаче упаковки данных осуществляется процедуры извлечения части битов из слова данных и размещения их в определенном месте нового машинного слова. Диаграмма, иллюстрирующая процедуру упаковки бинарного изображения представлена на рис. 5.

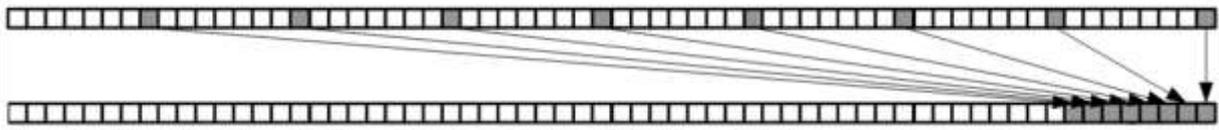


Рис. 5. Диаграмма, иллюстрирующая процедуру упаковки битов бинарного изображения

Эта процедура реализуется, например, в стандартной функции *bwrapk*, используемой в пакете программы MATLAB [12]. Для решения задачи с использованием набора инструкций *and*, *shift*, *or* необходимо выполнить восемь операций, включающих данный набор инструкций и формирование маски для выделения соответствующего бита. В одной из серий инструкций операция *shift* может быть исключена. Таким образом, для выполнения упаковки потребуется выполнение $8 \cdot 4 - 1 = 23$ инструкций, которые могут быть заменены одной инструкцией *grp*. Упаковка машинного слова ускорится в 23 раза.

Необходимо заметить, что аналогичные результаты можно получить с использованием SSE инструкции *pmovmskb* [14]. Но использование инструкции *grp* обладает гораздо большей гибкостью, поэтому возможна обработка данных, организованных в подслова, длина которых отличается от 8 или 16 битов.

Стеганография. Исследовался *LSB (Least Significant Bit)* алгоритм. Метод заключается в замене последних значащих битов в контейнере (изображения, аудио- или видеозаписи) на биты скрываемого сообщения. Диаграмма, иллюстрирующая *LSB*, представлена на рис. 6. Операция может быть выполнена с использованием инструкций *bsn* или инструкции обратной к *grp*.

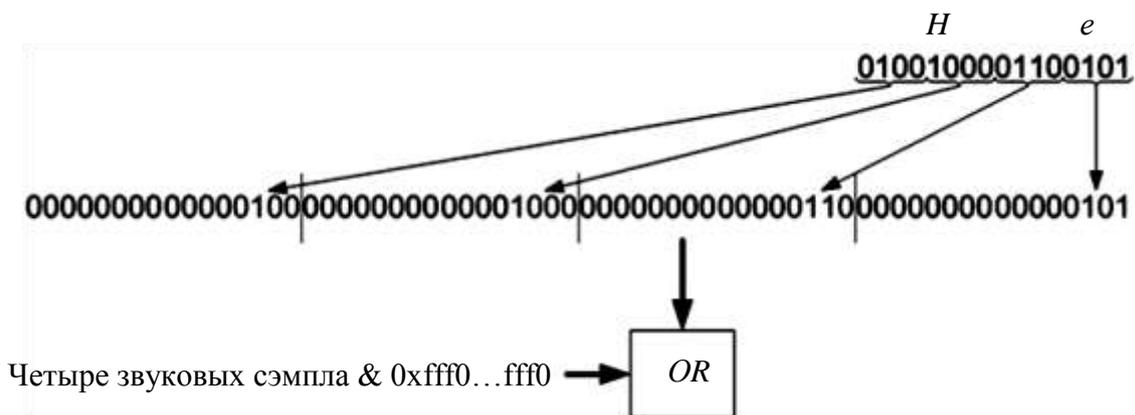


Рис. 6. Диаграмма, иллюстрирующая процедуру *LSB* [13]

Для извлечения данных из звукового потока используется обратная операция, формируемая с использованием инструкции *grp* или *bsn*. При использовании набора стандартных инструкций *and*, *shift*, *or* для выполнения преобразования, приведенного на рис. 6, потребуется выполнение $4 \cdot 4 - 1 = 15$ инструкций. Аналогичная операция может быть реализована с

использованием одной инструкции *bsn*, соответственно выигрыш увеличится в 15 раз.

Кодирование при передаче данных. Часто перед передачей двоичные данные преобразуются в текстовый формат. Примером может служить метод UUE (Uuencode). Это метод представления двоичных данных в текстовой форме, пригодной для передачи через средства, предназначенные только для передачи текстов (например, через e-mail, FTN, NNTP) (транспортное кодирование) [15].

UUE-данные начинаются со строки *begin mode file*, где *mode* – Unix-права доступа к файлу в восьмеричной системе счисления (для DOS/Windows приложений это число всегда 644), а *file* – имя исходного файла. При кодировании из файла берутся данные по 3 байта (в случае, если осталось меньше 3 байт, недостающие заменяются нулями) [16]. Биты, образующие эти 3 байта, делятся на четыре группы по 6 битов. Каждая 6-битовая группа интерпретируется как число (от 0 до 63), к которому добавляется 32. Получившееся число в диапазоне от 32 до 95 трактуется как код символа в ASCII-таблице [17] (получаются символы от пробела (32) до знака подчёркивания (95)). Могут использоваться и другие символы ASCII, однако значение имеют только младшие 6 битов кода символа. В силу свойств кодировки ASCII-изменение регистра символа не меняет его младшие 6 битов.

Каждая группа из 60 символов (соответствует 45 байтам исходного файла) используется для создания отдельной строки [16]. В начале строки указывается количество закодированных символов в строке (во всех строках кроме последней это число 45, т.е. символ 'M'). Каждая строка завершается символом перевода строки (\n или \n\r в зависимости от платформы).

После окончания данных кодируемого файла помещается строка, содержащая единственный пробел (и перевод строки), и строка с текстом «end».

Описанную процедуру иллюстрирует рис. 7.

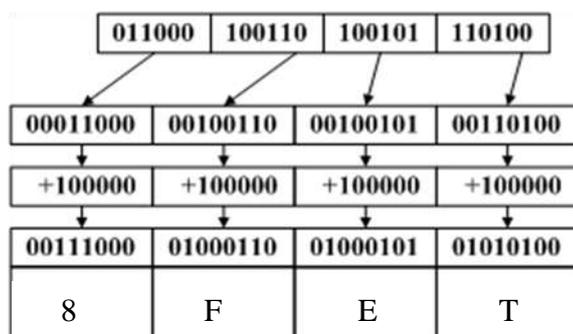


Рис. 7. Диаграмма, иллюстрирующая процедуру UUE

Данные, характеризующие скорость выполнения произвольных перестановок с использованием различных наборов инструкций, представлены в табл. 6.

Таблица 6

Скорость выполнения произвольных перестановок с использованием различных наборов инструкций

Набор инструкций	Число инструкций	Ускорение выполнения инструкций (раз)
<i>and, shift, or</i>	256	1
<i>extr, dep</i>	128	2
<i>grp</i>	6	43
<i>bsn</i>	2–4	128–64

Из анализа табл. 6 следует, что использование для перестановок инструкций *bsn* увеличивает скорость преобразований на два порядка. Инструкции *grp* являются также очень эффективным средством для ускорения выполнения криптографических протоколов преобразования информации [23].

Результаты по данным [24], свидетельствующие об увеличении скорости выполнения алгоритмов *RC5*, *RC6* более чем в 2 раза, представлены в табл. 7 и 8.

Таблица 7

Ускорение выполнения алгоритма *RC5* при использовании инструкции *grp*

Алгоритм	<i>RC5</i>	<i>RC5</i> с использованием <i>grp</i>
Число раундов	18	6
Число циклов за половину раунда	4	5
Полное число циклов	148	64
Ускорение	1	2,3

Таблица 8

Сравнительная характеристика *RC5* с использованием инструкции *grp* и *RC6*

Алгоритм	<i>RC5</i> с использованием <i>grp</i>	<i>RC6</i>
Число раундов	10	18
Число циклов за половину раунда	10	16
Полное число циклов	104	296
Ускорение	2,84	1

В [24] показано, что число раундов преобразования данных для достижения аналогичного уровня секретности в алгоритмах *RC5* и *RC5-grp* составляет 18 и 6 соответственно. Число циклов процессора для выполнения половины раунда составляет 4 для *RC5* и 5 для *RC5-grp*. Учитывая, что для выполнения алгоритмов *RC5* и *RC5-grp* требуется дополнительно 4 начальных цикла процессора, ускорение выполнения криптографических преобразований с использованием *RC5-grp* составляет 2,3 раза.

В табл. 8 приведены результаты аналогичных расчетов для сравнения криптографических алгоритмов *RC5-grp* и *RC6*. Ускорение составляет 2,84 раза.

Сравнение производительности выполнения алгоритма *DES* с использованием инструкций *bsn* и *grp* проводилось с применением модели 64-битного RISC процессора OpenRISC 1000 [25]. В процессоре использовалась одноуровневая кэш память L1 – 16 Кбайт с затратами при промахе (miss penalty) 50 циклов. Результаты моделирования, представленные в табл. 9, свидетельствуют об ускорении выполнения алгоритма *DES* более чем в 2 раза.

Таблица 9

Сравнительная характеристика скорости выполнения *DES* с использованием обычных и специальных инструкций

Использование набора инструкций	Скорость выполнения алгоритма <i>DES</i>
<i>and, shift, or</i>	1,0
<i>grp</i>	2,1
<i>bsn</i>	2,4

Результаты расчетов увеличения скорости генерации ключей *DES* с использованием обычных и специальных инструкций представлены в табл. 10.

Таблица 10

Сравнительная характеристика скорости генерации ключей шифра *DES* с использованием обычных и специальных инструкций

Использование набора инструкций	Скорость выполнения алгоритма <i>DES</i>
<i>and, shift, or</i>	1,0
<i>grp</i>	14,1
<i>bsn</i>	15,5

Анализ результатов свидетельствует об увеличении скорости выполнения алгоритма более чем на порядок.

Случайные перестановки данных широко применяются для защиты мультимедийной информации от нелегального копирования [26, 27, 28]. Поскольку используемые в этом случае алгоритмы основаны только на перестановках, ускорение выполнения программ преобразования мультимедийной информации лежит в диапазоне от 10 до 50 раз в зависимости от длины преобразуемых блоков.

Системы коммуникаций RPMA. Случайные перестановки данных находят применение в системах телекоммуникаций [29, 30]. Блок-схема системы *RPMA* (*Random Permutation-Based Multiple Access*) представлена на рис. 10. Информация от абонентов Z^1-Z^k преобразуется с использованием последовательностей случайных перестановок B^1-B^k . Процедура случайной перестановки данных приводит к расширению спектра информационного сигнала. На приемной стороне осуществляются обратные преобразования, и выделяется сигнал от требуемого абонента.

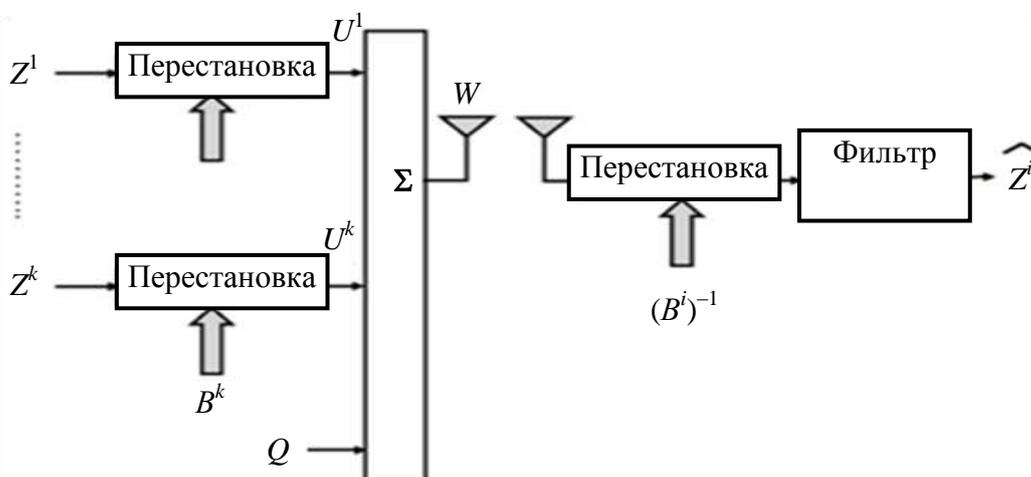


Рис. 10. Блок-схема организации системы *RPMA*

Диаграмма, иллюстрирующая процедуру обработки блока данных в системах *RPMA*, представлена на рис 11.

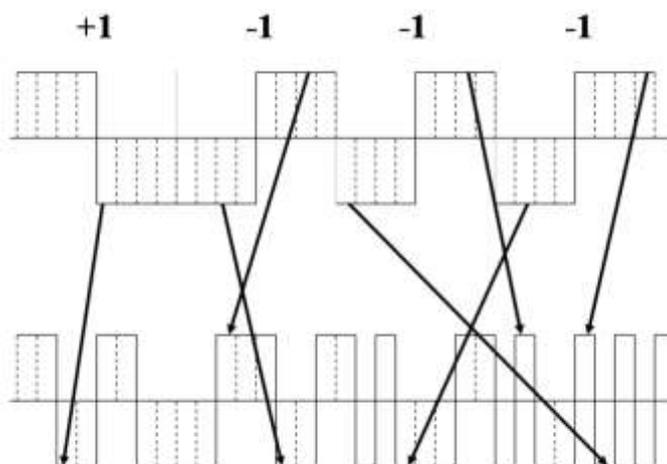


Рис. 11. Процедура обработки данных для использования в системах *RPMA*

Использование для обработки информационного сигнала процессора, поддерживающего команды преобразования форматов данных, приводит к существенному снижению количества инструкций, выполняемых в единицу времени. Таким образом снижается нагрузка на процессор и энергопотребление.

Коррекция ошибок. В некоторых алгоритмах обнаружения и коррекции ошибок существенно используются перестановки [31]. В связи с этим представляет интерес использование команд преобразования форматов данных для ускорения операций обнаружения и коррекции ошибок.

Анализ приведенного, далеко не полного списка задач показывает, что использование команд преобразования форматов представления данных является эффективным средством для ускорения обработки информации. Несмотря на то что ускорение выполнения отдельных фрагментов алгоритмов с использованием инструкций *grp* и *bsn* может составлять один или два порядка, суммарный эффект от использования данных инструкций может быть значительно меньше. В связи с этим представляет интерес оценка увеличения производительности реализации алгоритма в целом.

Исследования проводились с использованием процессоров CPU AMD ATHLON-64 X2 4800+ (ADO4800) 2.5 ГГц/ 1Мб/ 2000МГц, CPU Intel Core 2 Duo E7500 2.93 ГГц/ 3Мб/ 1066МГц.

Для оценки производительности использовалась инструкция *rdtsc*, возвращающая число циклов процессора с момента последней команды сброса. Фрагмент кода-вставки для занесения числа циклов в переменную *res* приведен ниже :

```
__asm {
    rdtsc
    mov dword ptr res, eax
    mov dword ptr res+4, edx
};
```

Использовалась следующая процедура оценки изменения производительности за счет применения новых инструкций.

В исходный текст программы вносились программные вставки.

Проверялось изменение времени расчета из-за введенных вставок. Во всех экспериментах это время не превышало 1% от времени выполнения алгоритма.

Число циклов процессора за время выполнения фрагментов оптимизируемого кода программы без использования инструкций *grp* и *bsn* заменялось на число циклов процессора с использованием инструкций *grp* и *bsn*.

При расчетах использовались эффективные алгоритмы, приведенные в [32]. Результаты проведенных оценок представлены в табл. 11.

**Результаты оценок ускорения работы алгоритмов
при использовании инструкций *grp* и *bsn***

Виды обработки информации		Ускорение работы алгоритма, раз
Обработка морфологии изображений размером 512x512		1,9
Упаковка и распаковка данных		2,5
<i>LSB</i> стеганография 4 бита в 16-битном <i>PCM</i> аудио	Прямое преобразование	1,8
	Обратное преобразование	2,1
<i>UUE (Uencode)</i>	Прямое преобразование	2,4
	Обратное преобразование	2,6
Биоинформатика		2,4

Полученные результаты находятся в соответствии с данными, представленными в [10], и свидетельствуют в среднем о более чем двукратном увеличении производительности выполнения приведенных алгоритмов.

Средства аппаратной поддержки инструкций манипуляции с битами и под словами данных. Эффективность включения в набор команд процессора специальных инструкций преобразования форматов данных зависит от сложности их аппаратной поддержки, в связи с чем данной проблеме посвящено много работ различных авторов [10, 33–35]. Аналогом команд преобразования форматов данных может служить инструкция *shift*, результат действия которой может быть получен с использованием инструкций *grp* или *bsn*.

Устройство циклического сдвига данных, которое может использоваться для аппаратной поддержки инструкции *shift*, представлено на рис. 12.

Это устройство представляет собой логарифмический блок сдвига и является одним из наиболее простых устройств, позволяющих сдвинуть данные, подаваемые на входы D1–D8, на число позиций, определяемых числом m [33]. Двоичный код числа m подается на входы C1–C3, а выходные данные снимаются с выводов Q1–Q8. Элементы T_{ij} представляют собой мультиплексоры 2 : 1.

Аппаратная сложность представленного устройства сдвига данных аналогична сложности матрицы, представленной на рис. 2. На базе данной матрицы возможно выполнение как инструкций *bsn*, так и инструкций *grp*, причем декодер команд управления матрицей для реализации инструкции *grp* имеет аппаратную сложность, аналогичную аппаратной сложности самой матрицы. Таким образом, схемы аппаратной поддержки инструкций *bsn* и *grp*, выполненные на базе матрицы с топологией *baseline*, представленной на рис. 2, а также устройства, представленные в [33], можно рассматривать как эволюцию модулей сдвига, широко применяющихся в вы-

числительной технике. Аппаратные сложности традиционных устройств сдвига и устройств аппаратной поддержки инструкций *bsn* и *grp* сравнимы и составляют $O(n \log_2 n)$.

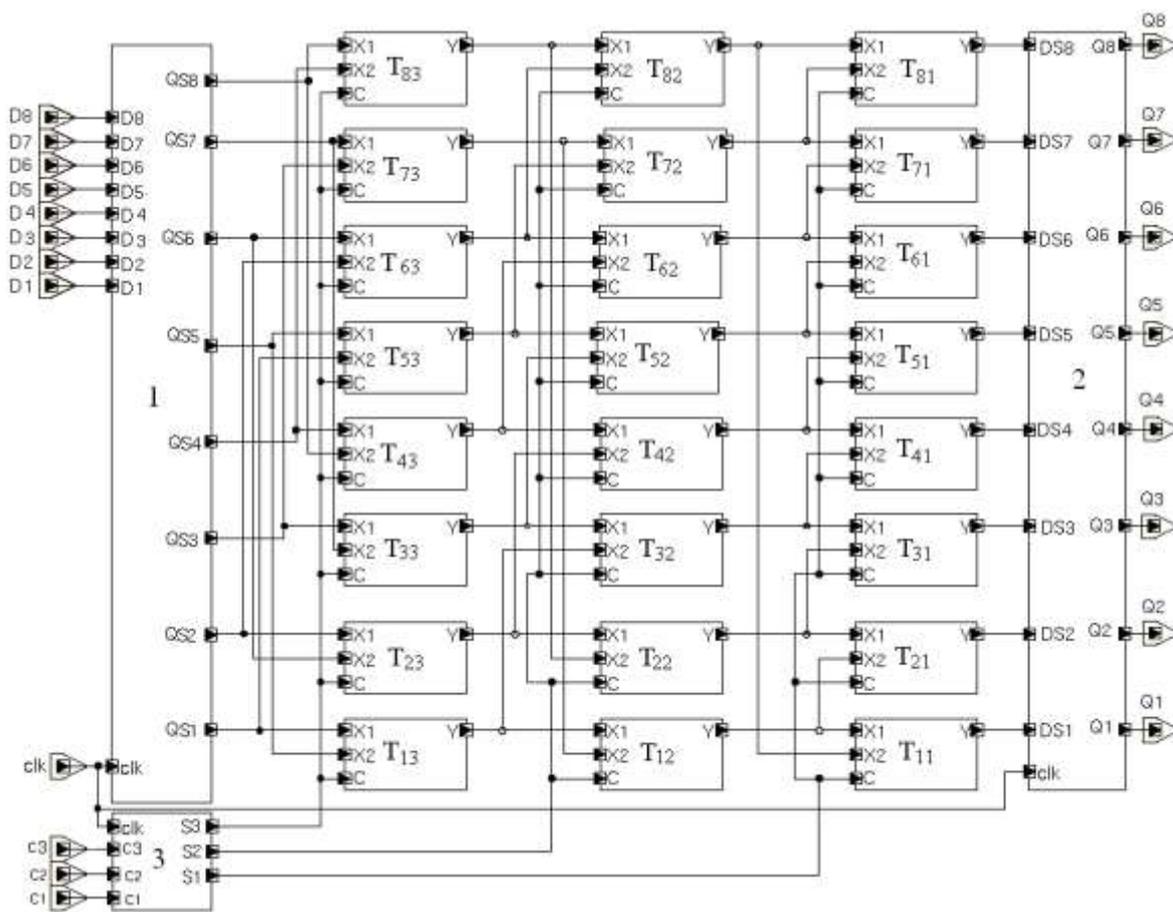


Рис. 12. Структурно-функциональная схема устройства циклического сдвига данных

Заключение

В работе были представлены результаты исследований перспектив использования специальных инструкций преобразования форматов данных для решения различных задач средствами вычислительной техники. Среди рассмотренных были алгоритмы сортировки данных, обработки морфологии изображений, корректировки ошибок, преобразования данных в системах с использованием шумоподобных сигналов, упаковки бинарных данных, кодирования при передаче данных, стеганографии, криптографии, биоинформатики. Представленные результаты свидетельствуют об ускорении выполнения данных алгоритмов в среднем более чем в 2 раза. Использование специальных инструкций наиболее эффективно в программах, включающих многократно выполняемые преобразования форматов данных. При этом ускорение выполнения некоторых алгоритмов может составлять один-два порядка, например сортировка небольших наборов данных или формирование ключей шифра *DES*.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Васюкевич В. О.* Элементы асинхронной логики. Венъюнкция и секвенция. URL : <http://asynlog.balticom.lv/Content/Files/ru.pdf> (дата обращения : 15.09.2010).
2. *Hennessy J. L., Patterson D. A.* Solution manual to Computer Architecture. A Quantitative Approach. SF, 2007. 705 p.
3. *Lee R.* Precision Architecture // IEEE Computer. 1989. Vol. 22, № 1. P. 78–91.
4. *Lee R., Mahon M., Morris D.* Pathlength Reduction Features in the PA-RISC Architecture // Proceedings of IEEE Compcon. 1992. P.129–135.
5. *Соболев С. С., Сотов Л. С., Харин В. Н.* Модели устройств кросс-кластерных перестановок данных в ЭВМ // Вестн. компьютерных и информационных технологий. 2009. № 12. С. 51–55.
6. *Сотов Л. С., Соболев С. С., Харин В. Н.* Кросс-кластерная коммутационная матрица для аппаратной поддержки управляемой перестановки данных в криптографических системах // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2009. № 4. С. 56–63.
7. Пат. 5175539 США, H04J 3/00. Interconnecting network.
8. *Lee R., Shi Z., Yang X.* Efficient Permutation Instructions for Fast Software Cryptography // IEEE Micro. 2001. Vol. 21, № 6. P. 56–69.
9. *Shi Z., Lee R.* Bit Permutation Instructions for Accelerating Software Cryptography. URL : <http://palms.ee.princeton.edu/PALMSopen/shi00bit.pdf> (дата обращения : 21.01.2011).
10. *Hilewitz Y.* Advanced bit manipulation instructions : architecture, implementation and applications. URL : http://www.engr.uconn.edu/~zshi/course/cse5095/ref/yhilewitz_thesis.pdf (дата обращения : 24.01.2011).
11. *Schwartz C. S., Kent W. J., Smit A., Zhang Z., Baertsch R., Hardison R. C., Haussler D., Miller W.* Human-Mouse Alignments with BLASTZ // Genome Research. 2003. Vol. 13, № 1. P. 103–107.
12. *Shi Z., Lee R.* Subword Sorting with Versatile Permutation Instructions. URL : <http://palms.ee.princeton.edu/PALMSopen/shi02subword.pdf> (дата обращения : 24.01.2011).
13. The Mathworks, Inc., Image processing toolbox user's guide. URL : http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/images/images_tb.pdf (дата обращения : 24.01.2011).
14. Intel Corporation, Intel 64 and IA-32 Architectures Software Developer's Manual, 2008. Vol. 1–2. URL : <http://download.intel.com/design/processor/manuals/253665.pdf> (дата обращения : 24.01.2011).
15. URL : <http://ru.wikipedia.org/wiki/UUE> (дата обращения : 24.01.2011).
16. UUE кодирование. URL : <http://algotlist.manual.ru/compress/standard/uue.php> (дата обращения : 21.01.2011).
17. Таблица ASCII. URL : <http://ru.wikipedia.org/wiki/ASCII> (дата обращения : 24.01.2011).
18. *Hilewitz Y., Shi Z. J., Lee R.* Comparing Fast Implementations of Bit Permutation Instruction. URL : http://palms.ee.princeton.edu/PALMSopen/hilewitz04comparing_with_cit.pdf (дата обращения : 21.01.2011).
19. *Shi Z., Lee R.* Implementation Complexity of Bit Permutation Instructions. URL : <http://palms.ee.princeton.edu/PALMSopen/shi03implementation.pdf> (дата обращения : 24.01.2011).
20. Data Encryption Standard (DES), Federal Information Processing Standard Publication, FIPS PUB 46-3, National Bureau of Standards, 1977. 26 p. URL : <http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips46-3/fips46-3.pdf> (дата обращения : 20.03.2011).

21. *Молдовян А. А., Молдовян Н. А., Гуц Н. Д., Изотов Б. В.* Криптография : скоростные шифры. СПб. : «БХВ-Петербург», 2002. 493 с.
22. *Молдовян А. А., Молдовян Н. А.* Скоростные шифры на базе нового криптографического примитива // Безопасность информационных технологий. 1999. № 1. С. 82–88.
23. *Lee R., Rivest R., Robshaw M., Shi Z., Yin Y.* On Permutation Operations in Cipher Design // Proceedings of the International Conference on Information Technology (ITCC). 2004. Vol. 2. P. 569–577.
24. *Shi Z.* Bit Permutation Instructions : Architecture, Implementation and Cryptographic Properties, Phd., Princeton University, 2004. URL : <http://ebookbrowse.com/shi-thesis-pdf-d125847061> (дата обращения : 20.03.2011).
25. OpenRISC 1000 architecture. URL : <http://opencores.org/openrisc,architecture> (дата обращения : 21.01.2011).
26. *Brown L.* Comparing the security of pay-TV systems for use in Australia // Australian Telecommunication Research. 1990. Vol. 24, № 2. P. 1–8.
27. *Chen H. C., Guo J. I., Huang L. C., Yen J. C.* Design and realization of a new signal security system for multimedia data transmission // Applied Signal Processing. 2003. № 13. P. 1291–1305.
28. *Mao Y., Wu M.* A joint signal processing and cryptographic approach to multimedia encryption // IEEE Trans. Image Processing. 2006. Vol. 15(7). P. 2061–2075.
29. *Lacaze B.* Effect of random permutations applied to random sequences and related applications // Signal Processing Journal. 2002. Vol. 82. P. 821–831.
30. *Coulon M., Roviras D.* Adaptive Joint Detection for a Random Permutation-Based Multiple-Access System on Unknown Time-Varying Frequency-Selective Channels. URL : <http://www.eurasip.org/proceedings/eusipco/eusipco2006/papers/1568981610.pdf> (дата обращения : 21.01.2011).
31. Пат. 7281188 США, H03M 13/00 (20060101). Method and system for detecting and correcting data errors using data permutations.
32. *Henry S., Warren J.* Hacker's Delight. Boston : Addison-Wesley Professional, 2002. 320 с.
33. *Hilewitz Y., Lee R.* A New Basis for Shifters in General-Purpose Processors for Existing and Advanced Bit Manipulations // IEEE Transactions on Computing. 2009. Vol. 58, №. 8. P. 1035–1048.
34. *Dimitrakopoulos G., Mavrokefalidis C., Galanopoulos K., Nikolos D.* Fast bit permutation unit for media enhanced microprocessors. URL : http://www.engr.uconn.edu/~zshi/course/cse5302/ref/dimitrak06fast_iscas.pdf (дата обращения : 21.01.2011).
35. *Dimitrakopoulos G., Mavrokefalidis C., Galanopoulos C., Nikolos D.* An Energy-Delay Efficient Subword Permutation Unit. URL : <http://www.stanford.edu/class/ee384e/cgi-bin/readings/r14a-energydelay.pdf> (дата обращения : 21.01.2011).

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФИЗИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 372.853

ЛЕКЦИОННАЯ ДЕМОНСТРАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОР ТЕСЛА

А. А. Игнатьев, К. В. Машинский, А. В. Прозоркевич

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail : IgnatievAA@info.sgu.ru

Описана учебная установка музея физических приборов и лекционных демонстраций СГУ, предназначенная для демонстрации явления высокочастотного высоковольтного разряда в воздухе. Рассмотрена конструкция, электрическая схема и режимы работы устройства.

Ключевые слова : лекционная демонстрация, трансформатор Тесла.

Lecture Demonstration Tesla Transformer

A.A. Ignatiev, K.V. Mashinsky, A.V. Prozorkevich

We describe the educational facility of physical devices and lecture demonstrations museum of SSU intended for the demonstration of high-frequency high-voltage discharge phenomena in the air. The facility design, diagram of connections and operation modes are considered.

Key words : lecture demonsration, Tesla transformer.

Демонстрация физических опытов в учебных целях имеет многовековую историю. Достаточно вспомнить знаменитые публичные лекции М. Фарадея или Н. Тесла, собиравшие многочисленные аудитории. Наибольшее впечатление на слушателей обычно производят опыты, которые «противоречат» их житейскому здравому смыслу или же воспроизводят природные явления, опасные для человека, например молнию. Возможно поэтому Н. Тесла очень интересовался явлениями газового разряда с точки зрения моделирования природных атмосферных разрядов. Решению этой задачи был посвящен его патент 1896 г. «Аппарат для производства электрических токов высокой частоты и потенциала» [1].

Идея совместить высокую частоту и высокое напряжение в одном устройстве оказалась весьма удачной, установки, работающие по такому принципу, принято называть трансформаторами Тесла. Были разработаны многочисленные модификации исходной схемы, предназначенные для демонстрационных целей. Обычно они изготавливаются энтузиастами по индивидуальным проектам, но в последнее время появились также промышленные образцы таких приборов, которые способны генерировать в воздухе многометровые разряды (рис. 1). Подобные установки нашли свое применение и в медицине (дарсонвализация). Токи высокой частоты даже при

очень высоком напряжении относительно безопасны для человека, при прохождении через тело они вызывают лишь небольшой нагрев поверхностного слоя толщиной несколько сантиметров. Негативное воздействие может оказать лишь непосредственный контакт кожи со стримером газового разряда, которого легко избежать с помощью металлической прокладки.



Рис. 1. Промышленный образец генератора

Катушкой (трансформатором) Тесла принято называть высоковольтный воздушный трансформатор определенной формы [2]. Его вторичная обмотка представляет собой цилиндрическую однослойную катушку из очень большого количества витков тонкого провода, расположенную вертикально. Нижний конец катушки заземлен, а верхний оканчивается шаром или другим гладким предметом. Первичная обмотка делается из нескольких витков толстого провода, концентрически охватывающих вторичную обмотку. Обычно первичная обмотка сделана либо на конус (витки расширяются кверху), либо намотана в одной плоскости (нечто вроде спирали Архимеда). Делается это для того, чтобы избежать пробоя между обмотками. Стандартная схема включения трансформатора показана на рис. 2.

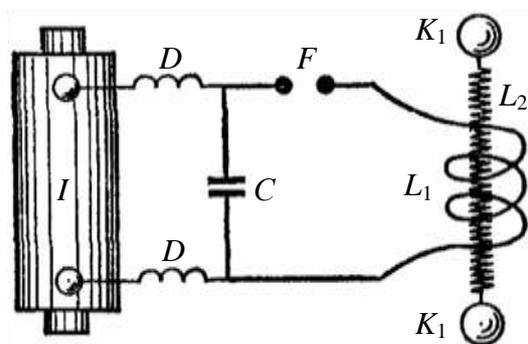


Рис. 2. Стандартная схема трансформатора Тесла [3]

Когда происходит пробой искрового разрядника F , в первичной обмотке возбуждаются затухающие высокочастотные колебания, которые наводят во вторичной обмотке

вынужденные колебания той же частоты. Эти колебания будут наиболее интенсивны при резонансе, когда амплитуда напряжения на шпилье может достигать сотен тысяч вольт. В качестве емкости вторичного контура выступает распределенная (межвитковая) емкость вторичной обмотки.

Музей физических приборов и лекционных демонстраций СГУ ведет свою историю почти с момента основания кафедры общей физики. Тогда он назывался «Коллекция физических приборов», которая начала комплектоваться с 1912 года. Сохранившаяся с тех пор инвентарная книга подтверждает, что с момента основания в Коллекции были собраны сотни образцов самого современного по тем временам оборудования. Многие установки сохранились до наших дней в рабочем состоянии и не потеряли своей учебной ценности. Современный музей располагает широким набором оборудования, позволяющим демонстрировать разнообразные физические опыты при чтении лекций по всем разделам курса «Общая физика».

Одной из наиболее интересных конструкций является лекционная демонстрация «Трансформатор Тесла», изготовленная в начале 1920-х годов на кафедре общей физики, которая до сих пор используется в учебном процессе. Установка предназначена для генерации высоковольтных высокочастотных колебаний и демонстрации безопасного для человека пробоя воздушного промежутка длиной 8–10 см. В отличие от стандартной схемы здесь используется высоковольтный автотрансформатор во вторичной цепи и электрохимический прерыватель для использования эффекта перенапряжения в первичной цепи.

Электрическая схема установки изображена на рис. 3.

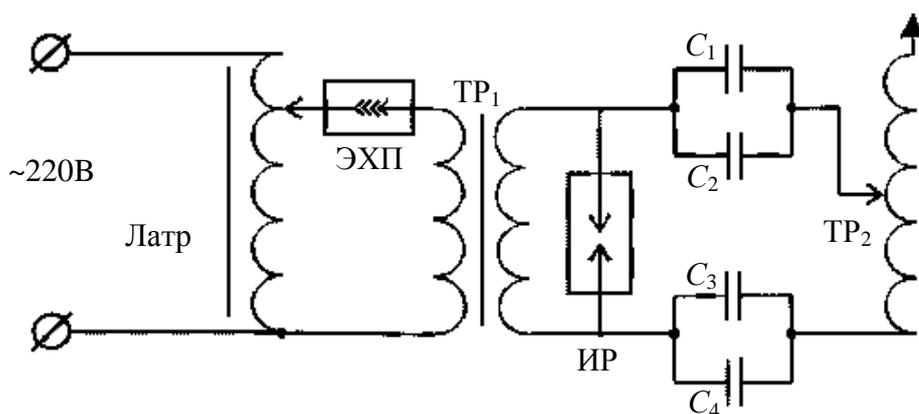


Рис. 3. Электрическая схема установки «Трансформатор Тесла»

Первичный контур содержит лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), электрохимический прерыватель (ЭХП) и трансформатор Румкорфа (ТР₁). Для получения достаточно высокого напряжения первичного колебательного контура используется трансформатор Румкорфа, у которого индуктивности обмоток равны 1,5 мГн и 136 Гн, сопротивления 1,6 Ом и

0,18 мОм, а коэффициент трансформации $k_1 \approx 300$. При насыщении сердечника (ток ~ 5 А) индуктивность первичной обмотки возрастает до 4.2 мГн.

Для дополнительного повышения напряжения используется электрохимический прерыватель Симона : два металлических электрода, погруженных на 1–2 см в соляную кислоту. Конкретный экземпляр прерывателя обеспечивает частоту срабатываний ~ 50 – 100 Гц соответственно максимумам тока в цепи. Добротность первичной обмотки невысока, поэтому возрастание напряжения за счет эффекта перенапряжения примерно четырехкратное. Постоянная времени первичной цепи достаточно мала, около 1 мс, поэтому длительность переходных процессов определяется самим прерывателем. При напряжении 60–70 В на входе цепи прерыватель работает недостаточно стабильно. Однако дальнейшее повышение напряжения сопровождается заметным выделением хлора в атмосферу, что неудобно для использования в учебном процессе. Выделение хлора заметно даже при минимальном рабочем напряжении, если время непрерывной работы прерывателя превышает несколько минут.

Вторичный контур состоит из двух трансформаторов – катушки Румкорфа и собственно трансформатора Тесла (Tr_2), 4 одинаковых конденсаторов (C_1 – C_4) и искрового разрядника ИР.

Фотография установки показана на рис. 4.



Рис. 4. Общий вид установки

Конструктивно установка собрана на деревянной раме, в нижней части которой установлены четыре высоковольтных конденсатора. Они выполнены в виде лейденских банок – стеклянных колб толщиной 2,25 мм, оклеенных с обеих сторон алюминиевой фольгой высотой 29 см, так что емкость одной банки составляет 2,8 нФ.

Над батареей конденсаторов расположен горизонтально искровой разрядник, выполненный в виде стеклянной трубки с подвижными контактами. Расстояние между контактами около 6 мм, что соответствует напряжению пробоя около 19 кВ. На крышке деревянной рамы установлены две катушки, образующие перестраиваемый воздушный автотрансформатор. Первичная обмотка состоит из 15 витков толстого (5 мм) провода, намотанного с шагом 12 мм на каркасе диаметром 24 см, индуктивность обмотки составляет 52 мкГн, сопротивление 0,1 Ом. Перестройка контура осуществляется с помощью червячного механизма: блок катушек вращается вокруг вертикальной оси, вызывая вертикальное перемещение подвижного контакта, упирающегося в провод катушки. Рабочая точка соответствует индуктивности 10 мкГн, так что собственная частота контура близка к 1 МГц. Такая частота удобна тем, что электрическая прочность воздуха при этом минимальна.

Вторичная обмотка залита компаундом, измеренная индуктивность составляет 2 мГн, сопротивление 4,5 Ом. Первичная и вторичная обмотки соединены между собой по схеме автотрансформатора с коэффициентом трансформации $k_2 \approx 14$. Вторичная обмотка автотрансформатора разомкнута и подсоединена к терминалу в виде шара с острым вертикальным шпилем для получения электрических разрядов в воздухе. Общий коэффициент трансформации установки составляет $k_1 \cdot k_2 \approx 4200$, генерация разрядов начинается при напряжении 60–70 В и токе около 5 А в первичном контуре. Длина стримера между шпилем и металлическим штырем в руках демонстратора составляет 8–10 см. Обычная люминесцентная лампа светится на расстоянии около метра до шпиля, свечение лампы наблюдается также при образовании цепочки из 4 человек, первый из которых контактирует со стримером через металлическую указку, а последний держит лампу. Оценка амплитуды выходного напряжения с учетом зависимости электрической прочности воздуха от частоты и формы электродов дает значение 50–60 кВ.

При включении катушки Румкорфа в качестве простого повышающего трансформатора (без электрохимического прерывателя) напряжение на выходе падает до 20–30 кВ и сильно возрастает потребление активной мощности. Включение балластных элементов нецелесообразно из-за дальнейшего падения добротности первичной цепи.

Наиболее эффективным решением была бы замена ЭХП транзисторным прерывателем на частоту ~500 Гц по аналогии с автомобильной ка-

тушкой зажигания. В качестве простой альтернативы была опробована замена ЭХП обычным тиристором типа ТЧ-40, включаемым тем же напряжением через резисторный делитель. В таком режиме форма тока через первичную обмотку катушки Румкорфа в течение полупериода хорошо моделируется известным выражением [4]

$$i(t) = \frac{e_m}{Z} \left[\sin(\omega t + \psi - \varphi) - \sin(\psi - \varphi) e^{-t/\tau} \right],$$

где ψ – угол отсечки входного напряжения тиристором; φ – угол сдвига фаз в RL – цепи; Z – импеданс; e_m – амплитуда входного напряжения; $\tau = L/R$ – постоянная времени. При таком включении длина стримеров уменьшается до 3–4 см, но потребление активной мощности значительно снижается. Время непрерывной работы в таком режиме практически не ограничено, что облегчает, в частности, настройку прибора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Pat. 568176 US, Apparatus for producing electric currents of high frequency and potential.
2. Грабовский М. А., Млодзеевский А. Б., Телеснин Р. В. и др. Лекционные демонстрации по физике. М. : Наука, 1972, 640 с.
3. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Электричество. М. : Наука, 1977. Т. 3. 704 с.
4. Татур Т. А. Основы теории электрических цепей. М. : Высш. шк., 1980. 272 с.

УДК 378.14.015.62, 378.4

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ В РОССИИ, США И СТРАНАХ ЕВРОПЫ

Л.А.Романченко, А.А.Игнатьев

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail : lari_rrr@mail.ru

В статье рассматривается актуальная для современного российского образования проблема невостребованности дипломированных специалистов. Проводится сравнение управления качеством образования в России, США и странах Европы.

Ключевые слова : управление качеством, образование.

Quality Management of Education in Russia, USA and European Countries

L.A. Romanchenko, A.A. Ignatiev

In the article the actual problem for modern Russian education - uselessness of certified specialists is considered. Quality management of education in Russia is compared with the same in USA and European countries.

Key words : quality management, education.

В современной России государство уделяет большое внимание повышению эффективности системы высшего профессионального образования. Общество предъявляет высокие требования к выпускникам высшей школы.

В научной среде существует мнение, что при долговременном социально-экономическом развитии начинается разрушение «человеческого фактора», или «человеческого капитала». Этот процесс происходит на макроэкономическом уровне и носит многоаспектный характер. Безработица может создать угрозу социально-экономической стабильности России в целом и каждого из субъектов Российской Федерации.

Актуализация качества образования и обсуждение его критериев вызваны рядом причин. С середины прошлого столетия идет процесс «массовизации» высшего образования – оно стало доступным огромной массе населения страны. С начала 1990-х гг. число вузов в Российской Федерации возросло в 2 раза, а численность студентов – в 2,6 раза. Доля лиц с высшим образованием среди занятого в экономике населения составляет 27,8%. Сегодня по показателю численности студентов на 10000 человек Россия превзошла Соединенные Штаты Америки (далее – США) (в России – 245 чел., в США – 234 чел.). В Америке 65% выпускников школ поступают в вузы, в России – 76%. Значительное увеличение численности студентов в стране вызвало финансовое напряжение в бюджете, затраты на образование одного студента стали значительно ниже. За период с 2000 по 2005 г. бюджетные расходы на образование в России выросли в сопоставимых ценах в профессиональном образовании в 1,7 раза, по сравнению со странами – членами Организации экономического сотрудничества и развития (с поправками на паритет покупательной способности) расходы остаются крайне низкими. В расчете на одного обучающегося они меньше почти в 10 раз. Эта экономическая ситуация ставит под угрозу качество российского высшего образования.

Эксперты констатируют в стране перепроизводство дипломированных специалистов, нарушение баланса между их количеством и реальной потребностью данной категории трудовых ресурсов.

Статистика свидетельствует : из 1,5 млн специалистов, ежегодно выпускаемых высшей школой, отечественный рынок труда и бизнес-сообщество способны принять лишь 500 тыс. человек [1]. Поэтому большая часть выпускников работает не по специальности и на должностях, не требующих высокой квалификации. В настоящее время около 834 тыс. человек в возрасте до 29 лет являются безработными.

На несбалансированность объемов и профилей подготовки специалистов с потребностями рынка труда и на необходимость ее устранения обращается особое внимание в «Концепции действий на рынке труда на 2008–2010 годы», принятой распоряжением Правительства Российской Федерации от 15 августа 2008 г. № 1193-р.

Качество высшего образования становится актуальным и в связи с международным обменом студентов и вхождением российской системы высшего образования в Болонский процесс.

Таким образом, качество образования становится все более важным условием эффективности деятельности высших учебных заведений страны. Возникает острая необходимость обеспечения качества образования при сложившихся в России рыночных отношениях, что требует определения критериев качественного образования в высшей школе.

*Невостребованность дипломированных специалистов
как одна из основных проблем качества высшего образования*

Проблемы качества высшего образования впервые были сформулированы в работах европейских специалистов. Одним из основоположников данного научного направления стал профессор Букингемского открытого университета М. Фрезер, который проанализировал качество образования как комплексную категорию, включающую в себя «совокупность определенных стандартов, образовательный процесс, деятельность вузов и факультетов, соответствие целям и компетентность выпускников» [2].

В современной России, как и в ряде европейских стран, существует система оценки качества образования через процедуру аттестации и аккредитации вузов. Имеются параметры оценки качества образования на этапах приема в вуз, процесса обучения и выпуска студентов.

При этом ситуация, сложившаяся на рынке труда, свидетельствует о том, что выпускники российских вузов остаются невостребованными, многие из них работают не по специальности.

Одной из проблем, связанных с изменениями на рынке труда, явилась угроза безработицы для молодых специалистов, оканчивающих вузы. Сегодняшние выпускники вузов стали одной из слабозащищенных в социальном отношении групп населения. На фоне общего снижения уровня безработицы в стране проблема востребованности и трудоустройства специалистов с высшим профессиональным образованием остается актуальной. Современной, динамично развивающейся российской экономике не хватает высокообразованных и квалифицированных инженеров в области машиностроения, энергетики, нефтехимии и других перерабатывающих отраслей хозяйства. Качество профессиональных знаний, умений и навыков молодых специалистов не всегда соответствует современным требованиям. Исключение составляют лишь те специалисты, которые обслуживают новейшие секторы экономики, отсутствовавшие в советский период. Современный рынок труда предъявляет высокие требования не только к профессиональной подготовке специалиста, но и к его личностным качествам, общей культуре. Высококвалифицированный специалист должен уметь работать в команде, быстро и правильно реагировать на изменения, происходящие в сфере его профессиональной деятельности, постоянно стремиться к обновлению своих знаний.

Необходимость мониторинга и статистической оценки качества образования

Смягчить или даже устранить проблемы, связанные с востребованностью и трудоустройством специалистов с высшим профессиональным образованием, помогут разработка и внедрение модели мониторинга качества образования, а также статистическая оценка качества образования.

Проблемы, связанные со статистической оценкой качества образования, более сложные, нежели проблемы мониторинга образования. Противоречивы подходы к самому понятию качества образования и механизмам его оценки, в том числе и статистической.

Проблема системы оценки качества образования имеет не только чисто ведомственное, но и большое общественное значение – это один из немногих механизмов влияния государства и общества на систему образования. Информация такого рода нужна не только управленческим структурам, но и самим учебным заведениям, и потребителям образовательных услуг. При этом разным пользователям нужны разные данные.

Считается, что мониторинг должен в первую очередь касаться выполнения требований государственного стандарта. Существует концепция мониторинга качества высшего профессионального образования, в рамках которой мониторингу, прежде всего, подлежит эффективность использования конечного продукта – высшего образования. При этом качество высшего образования рассматривается с точки зрения трудоустройства молодых специалистов.

Более того, мониторинг должен опираться на систему статистических закономерностей и их количественную оценку. Необходимо разработать методологию, в основу которой ляжет системный подход к статистическому исследованию качества высшего образования как фактора уровня и эффективности занятости экономически активного населения.

Определение понятия качества с разных позиций

Качество полученного знания можно рассматривать с разных позиций. С позиций философии качество того или иного объекта – его специфическая внутренняя сущность, видимым выражением которой является совокупность свойств данного явления. Философское определение качества, несомненно, имеет методологическое значение. Оно фиксирует внимание исследователя на качестве как на внутреннем состоянии явления или предмета и подчеркивает объективность качества. Однако в рыночной экономике понятие «качество» приобретает некоторые специфические черты, обусловленные рынком и спросом. Большинство современных зарубежных и отечественных специалистов связывают качество товаров и услуг с потреблением. Так, Джозеф Джуран, ведущий американский специалист по

системам качества, считает, что «качество – это пригодность к использованию» [3]. Арманд Фейгенбаум определяет качество как «решение потребителя, а не инженера или маркетолога. Качество основано на взаимодействии потребителя с товаром и измеряется в соответствии с удовлетворением его требований» [4].

Зарубежные исследователи качества Харви и Грин считают, что предмет обладает качеством, если соответствует требованиям потребителя. Качество – это удовлетворение клиента.

Качество – комплексное понятие, характеризующее эффективность всех сторон деятельности : разработки стратегии, организации учебного процесса, маркетинга и др. Важнейшей составляющей всей системы качества образования является качество (в широком смысле этого слова) выпускников вуза. При этом последние должны рассматриваться, с одной стороны, как потребители (информации, которую они получают в вузе), с другой – как поставщики собственных знаний и умений работодателю [5].

Само понятие «качество» эволюционировало и несколько меняло свое значение. Изначально, в 50-е гг. XX в., оно определялось с точки зрения производителя как соответствие основных характеристик продукции стандартам, нормам, эталонам. Затем, в 60-е гг. XX в., качество представляло собой совокупность характеристик продукции или услуги, посредством которой они будут отвечать требованиям потребителя при их эксплуатации. И это определение уже отражает точку зрения потребителя.

Определения понятия качества даны Международной организацией по стандартизации (*International Organization for Standardization, ISO*). «Качество – совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности» [6]. «Качество – степень соответствия присущих (объекту) характеристик требованиям» [7]. При этом термин «присущий» в отличие от термина «присвоенный» означает «имеющийся в чем-то». Прежде всего, это относится к постоянным характеристикам.

Последнее из определений качества представляется наиболее оптимальным. Оно позволяет сделать вывод о том, что с позиций экономики качество, в том числе и качество образования, предполагает не только наличие объективных особенностей качества как такового, но и включает в себя ряд субъективных моментов. Субъективная составляющая качества – это социальная потребность, понимаемая как способность того или иного объекта (носителя качества) данную потребность удовлетворять.

Проблема качества высшего профессионального образования в США и Европе

Статистическое исследование показало, что проблема качества высшего профессионального образования актуальна не только в России, но и в странах Европы, а также в США, поскольку увеличивается потреб-

ность в кадрах с высшим образованием. Исследования, проведенные в 50 странах мира, выявили, что в каждой возрастной группе работники с высшим профессиональным образованием имеют более высокую оплату труда. С возрастом заработная плата увеличивается в зависимости от качества знаний специалиста, в большей мере это наблюдается у более образованных работников.

Проводя сравнение с системой качества высшего образования и выработкой критериев качества в США, следует отметить, что в основу американской модели системы образования положен принцип саморегуляции, который выражает неустанное желание всех заинтересованных сторон (студентов и их родителей, профессуры и администрации вуза, профессиональных союзов и других общественных организаций, работодателей и т.д.) улучшить систему и качество высшего образования путем оценки, проводимой на уровне всего учебного заведения. В США существует несколько способов такой оценки :

- через аккредитацию учебного заведения внешними специальными региональными организациями по четко сформулированным стандартам и требованиям;

- профессиональными ассоциациями и союзами, в состав которых входят профессионалы в данной области, на основе критического анализа профессиональных образовательных программ;

- проводится оценка образовательных программ, полностью организованная самим университетом. Цель такой самооценки – выявление и устранение недостатков в организации учебного процесса, поиск новых современных методов обучения и связи теоретической подготовки с практикой, перераспределение материальных и интеллектуальных ресурсов, улучшение всей деятельности вуза.

Обращает на себя внимание тот факт, что европейцы в своих системах оценки качества высшего образования начинают использовать те же принципы, что и американские коллеги. Поэтому положительный опыт США в подготовке специалистов в области высшего образования заслуживает пристального внимания. Для России он интересен не только с позиций проблемы оценки качества высшего образования, но и в связи с совершенствованием взаимодействия рынка труда и сферы образования.

Концепция всеобъемлющего управления качеством

Начиная с 1980 г. в американских корпорациях для повышения эффективности их деятельности была принята концепция всеобъемлющего управления качеством (TQM). Эта концепция была создана В. Эдвардом Демингом и его коллегами и широко использовалась в Японии со времен

Второй мировой войны. Она сформировалась на основе статистических методов и стала фундаментальной базой в теории управления качеством. Основными принципами концепции TQM являются :

- статистический контроль за производственными процессами (CPS);
- передача полномочий;
- непрерывное усовершенствование;
- вовлечение служащих;
- удовлетворение потребностей клиентов;
- ориентация на внутреннего потребителя;
- оценка результатов в достижении целей;
- использование приборов и техники.

«Сглаженные» структуры

Наряду с осуществлением TQM многие американские организации стали уделять внимание процессу снижения затрат, чтобы улучшить общую эффективность (в том числе и качество) и сохранить конкурентность, отвечая на быстрорастущие требования окружающей внешней деловой среды. Тенденции преобразования организационных структур при этом в более плоские (сглаженные) повлекли за собой создание условий для расширения диапазона контроля (следовательно, часть полномочий была отдана служащим) и снижение уровней и слоев управления [8].

Одним из результатов этого «сглаживания» структур является переход к более децентрализованным, менее затратным и более чувствительным организационным структурам (в Европе они называются «ослабленными» организациями). «Ослабленные» организации – это сети разветвленных, гибких организаций, придающих большее значение взаимосвязям, которые заменили иерархические организации. Современные сглаженные организационные структуры опираются :

- на групповую работу (самоуправление и пересечение функций);
- децентрализацию, путем делегирования принятия решений на нижние уровни, на которых идет выпуск продукции;
- предоставление рабочим полномочий принимать решения самим;
- развитие у рабочих способности для группового обучения, чтобы заменить их привычку ждать «мудрости сверху».

Сглаженная организационная структура включает в себя :

- расширение контролируемого интервала;
- сокращение уровней управления;
- ориентацию ведущих менеджеров, ответственных за выполнение, одновременно с поощрением взятия риска на себя, что означает передачу власти принятия решений вниз;

– передачу полномочий определения интервала контроля и его уровня от штата служащих вниз на линейный уровень.

Сглаживание структур происходит в результате обновления взглядов на производительность и качество, вызванного тем, что в иерархической структуре высший руководитель находится на высоком уровне иерархии, более удаленном от производителей и потребителей, а это является препятствием для результативности и эффективности. Такое движение к горизонтальному потоку процессов не означает сложения полномочий управления : управление обеспечивает руководство, баланс и интеграцию.

Задача управления состоит в поощрении некоторой степени согласованности между людьми, группами и подразделениями через разделение стратегии компании и культуры, хотя при этом и делается вид допущения анархии.

Некоторые проблемы качества образования в современной России

Согласно закону РФ «Об образовании» образовательные учреждения осуществляют образовательный процесс. А если это процесс, то необходимо определить, во-первых, поставщиков и потребителей и, во-вторых, на что ориентироваться в системе подготовки кадров – на конечный результат или на управление процессами. Анализ образовательного процесса показывает, что он имеет много общего с любым производственным процессом, но в нем есть и принципиальные отличия. Деятельность вуза существенно отличается от деятельности промышленных предприятий тем, что ее основным объектом является человек, а это исключает шаблонные подходы.

Специфику вуза определяет его основная деятельность – образовательная, главная задача которой – воспитание и подготовка специалистов, имеющих спрос на мировом рынке. В то же время, рассматривая высшее профессиональное образование через призму рыночных отношений, можно представить его как разновидность образовательных услуг. Специфика этих услуг состоит в том, что о соответствии уровня получаемого высшего профессионального образования запросам современного рынка труда студент, будущий специалист (потребитель), узнает лишь по прошествии некоторого времени : у потребителя отсутствует полная информация обо всех свойствах получаемой образовательной услуги, в том числе и о качестве будущего образования, его востребованности на рынке труда. Высшие учебные заведения, прошедшие государственную аттестацию и аккредитацию, гарантируют потребителям своих услуг получение диплома государственного образца, подтверждающего, что выпускник прослушал предусмотренные государственным образовательным стандартом курсы и защитил выпускную квалификационную работу. Однако при этом **не гарантируется**, что специалист будет востребован на рынке труда.

*Трудоустройство специалиста
как главный показатель качества образования*

Из многообразных характеристик качества высшего профессионального образования следует выделить так называемый «эксплуатационный» показатель, под которым понимается трудоустройство выпускника высшей школы по специальности, полученной в вузе. Именно рынок труда в современных условиях является индикатором результативности высшего профессионального образования.

Схематически взаимосвязь качества образовательного процесса, качества специалиста и его трудоустройства представлена на рисунке.



Взаимосвязь качества образовательного процесса, качества специалиста и его трудоустройства

В настоящее время оценка качества высшего профессионального образования ограничивается установлением определенных государственных требований к учебному процессу; последующий системный контроль за подтверждением качества образовательных услуг на рынке труда пока отсутствует.

Проблема подготовки специалистов в России в период перехода к рыночным отношениям стала весьма острой в силу следующих причин :

- ликвидации государственного распределения;
- дефицита специалистов, способных работать при рыночных отношениях, при количественной избыточности традиционных специалистов;
- неустойчивого спроса на специалистов со стороны потребителей;
- снижения мотивации к овладению техническими знаниями и приобретению инженерной профессии;

– сокращения госбюджетного финансирования образовательной и научной деятельности.

Следовательно, необходимо создание системы управления высшего учебного заведения, ориентированной на повышение соответствия уровня российского образования требованиям современного общества.

Заключение

Анализ американского опыта в обеспечении современного рынка труда подготовленными и высококвалифицированными кадрами позволяет сделать следующие выводы.

Во-первых, американская модель образования и подготовки высококвалифицированных специалистов является более адекватной современным условиям развития рыночной экономики. Особенно интересен опыт в области переподготовки и дополнительного образования, участия государства в этих процессах.

Во-вторых, американское высшее образование, функционирующее в рамках развитой рыночной экономики, испытывает на себе законы рыночных отношений и подчиняется им. Учет растущей конкуренции в сфере образовательных услуг, ужесточение требований со стороны работодателей к качеству высшего профессионального образования и ориентация на потребителя становятся основными принципами организации образовательного процесса в высшей школе. Именно в расчете на потребителя современный вуз должен определять цель своей деятельности и ставить задачи для ее достижения.

Правительство России после подписания болонских документов, определивших вхождение страны в единое европейское образовательное пространство, в своей государственной образовательной политике должно учитывать эти процессы. В последние годы в Российской Федерации возрастает заинтересованность в обеспечении качества образования всех уровней, поскольку оно является одним из главных условий экономической конкурентоспособности страны и ее национальной безопасности. Подобно промышленным предприятиям вузы России вступают на путь конкурентной борьбы. Они борются за рынок поставщиков и рынок потребителей своей продукции.

В рыночных отношениях конкурентоспособными становятся лишь те российские вузы, которые на основе статистического анализа собственной деятельности отслеживают изменения и потребности рынка труда. Вузы должны сегодня ориентироваться не на классическую модель рынка труда, а на современную – информационную, в которой благодаря развитию информационных технологий инициатива перемещается к потребителю. В России в вопросах управления качеством рассматривается комплекс действий, направленных на решение таких задач, которые позволяют достигнуть поставленную цель. В административно-командной системе управления качеством имели место **недостатки** :

– преобладали административные методы управления качеством, основанные на плановом механизме, отсутствовали мотивационные механизмы повышения качества;

– управление качеством сводилось только к понятию качества продукции (например, стандартизация) без анализа всех процессов деятельности;

– отсутствовала финансовая поддержка в стимулировании процессов достижения качества продукции и труда;

– качество управления рассматривалось как средство достижения количественных показателей плана.

Новая стратегия управления качеством предусматривает наличие следующих положений :

– обеспечение качеством понимается как систематический процесс, включающий все подразделения предприятия, т.е. переход от ориентации на качество продукции к ориентации на качество деятельности;

– организационная структура должна соответствовать новому понятию качества, которое ориентировано **на потребителя**, а не на производителя.

Глубокий статистический анализ процесса трудоустройства выпускников обеспечит современные учебные заведения возможностью должным образом ориентироваться на запросы потребителей – абитуриентов, студентов и слушателей, будущих работодателей, рекрутинговых агентств, государственных органов образования, общества в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бизнес и образование : проблемы, тенденции, приоритеты // Официальные документы в образовании. 2006. № 10. 60 с.
2. *Frazer M.* Assuring Quality in Higher Education : A Blueprint for Future // Higher Education Supplement Quality Debate Conference. 1993. 43 p.
3. *Бенделл Т.* Наставники по качеству : сб. кратких очерков о самых знаменитых зарубежных деятелях в области качества. М. : Стандарты и качество, 2000. 48 с.
4. *Фейгенбаум А.* Контроль качества продукции. М. : Экономика, 1986. 24 с.
5. *Иродов М. И., Разумов С. В.* Создание системы управления качеством подготовки специалистов в вузе // Университетское управление. 2003. № 2(25). С. 90–95.
6. ГОСТ ИСО 8402-1986. Управление качеством и обеспечение качества – Словарь. URL : <http://gostrossii.narod.ru/gost/terminologiya-i-standartizatsiya/iso-8402-upravleniekatchestvom-i-obespetchenie-kachestva-slovar.html> (дата обращения : 9.03.2011).
7. ГОСТ ИСО 9000-2000. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. URL : <http://www.startstroi.ru/index.php?name=Files&op=view&id=2259> (дата обращения : 9.03.2011).
8. URL : http://www.chibl.ru/lib/study/management/v_a_barinov_menedzhm (дата обращения : 18.04.2011).

ЭКОНОМИКА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 338.27

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ НИОКР В ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

А. А. Солопов

ОАО «Тантал»

Россия, 410040, Саратов, пр. 50-лет Октября, 110А

E-mail : solopov@tantal-2.renet.ru

Рассмотрены глобальные тенденции в области военной науки и политики, а также экономико-политические характеристики внешней среды, в которой приходится функционировать оборонным предприятиям электронной отрасли, создающим заделы новой элементной базы для будущих образцов вооружения и военной техники.

Ключевые слова : военная наука, оборонное предприятие, электронная отрасль, элементная база.

Analysis of Trends in Scientific Development Work in the Military-Industrial Complex

A. A. Solopov

Reviewed global trends in military science and politics, as well as economic and political characteristics of the environment in which it is necessary to operate defense firms in the electronics industry, creating backlogs of new components for future weapons and military equipment.

Key words : military science, defense enterprise, electronic industry, component.

Огромное значение для развития оборонно-промышленного комплекса (ОПК) и всей экономики в целом имеет активизация инвестиционной обстановки. Создание позитивного инвестиционного климата в экономике страны может быть достигнуто путем привлечения кредитов для модернизации производственной и научной баз. Статья посвящена анализу тенденций развития ОПК, краткосрочной перспективы постановки НИОКР, условиям инвестирования для создания качественно новых образцов вооружения (В) и военной техники (ВТ). Рассмотрены глобальные тенденции в области военной науки и политики, а также экономико-политические характеристики внешней среды, в которой приходится функционировать оборонным предприятиям электронной отрасли, создающим заделы новой элементной базы для будущих образцов В и ВТ.

Предприятия ОПК в своей работе сталкиваются с рядом проблем. Разработчики и производители военной техники вынуждены содержать резервные и мобилизационные мощности. Закрытый характер разработок предприятий ОПК накладывает дополнительные ограничения на использование рыночных механизмов и гражданские свободы работников. Реализа-

ция ответственных функций, возложенных на системообразующие предприятия ОПК, пока еще не обеспечена в должной мере нормативно-правовой базой и механизмами их взаимодействия с государственным заказчиком и субподрядчиками.

Совершенно очевидно, что ключевым критерием успеха работы предприятия является определение потребностей государства в разрабатываемой и производимой технике, способной обеспечить необходимый уровень обороноспособности страны. Деятельность предприятий ОПК не может быть организована в отрыве от остальных сфер общества и должна подчиняться руководящей стратегической идее развития страны. Проведение модернизации научной и производственной базы предприятий ОПК должно однозначно увязываться с перспективными потребностями госзаказчиков и спросом на международном рынке.

Анализ мировых тенденций [1] показывает, что с ростом экономики возрастает потребность в перевооружении. Можно утверждать, что вооружение – это своего рода «роскошь», из чего следует, что в будущем имеет смысл ожидать заказы вооружений от развивающихся стран. Данные о военных расходах стран мира приводятся в единой валюте (например, в долларах США), что позволяет провести их сравнительный анализ. Для ранжирования стран по величине валового внутреннего продукта (ВВП) используется его удельное значение в расчете на одного гражданина страны :

$$S_{\text{удел}}(t) = \frac{S_i(t)}{N_i(t)},$$

где $S_i(t)$ – валовой внутренний продукт; $N_i(t)$ – население i -го государства.

Доля ВВП государства в общемировом ВВП рассчитывается по формуле

$$S_{\text{отн}}(t) = \frac{S(t)}{\sum_{i=1}^k S_i(t)},$$

где $S(t)$ – общемировой ВВП; k – количество анализируемых государств.

Для расчета военных расходов используются следующие показатели :

- доля расходов на национальную оборону от ВВП;
- доля расходов на оснащение вооружением и военной техникой;
- удельные расходы на содержание вооруженных сил (ВС);
- удельные расходы на техническое оснащение ВС.

В качестве показателя уровня развития оборонного комплекса государства используется объем экспорта В и ВТ на мировом рынке.

Изменения в геополитической картине мира в будущем предвещают перераспределение военной силы. Эти процессы будут повышать роль ОПК как инструмента военно-экономического давления, а пересмотр задач,

стоящих перед армией развитой в военном отношении страны, повлечет изменение качественного уровня продукции, производимой ОПК.

Прекращение гонки вооружений, ликвидация «железного занавеса» привели к тому, что возможность глобальных военных действий заметно снизилась, а локальных конфликтов, в которых невозможно применение оружия массового уничтожения, увеличилась. Как отмечают военные аналитики Пентагона, ВС США должны иметь силы и средства для ведения глобальной войны или двух локальных военных конфликтов, причем в условиях «малых» локальных войн наибольшее значение будет иметь высокоточное и «интеллектуальное» оружие.

Перспективные образцы В и ВТ являются сложными техническими системами, состоящими из совокупности разнородных подсистем, включающих составные части и элементы с различным набором тактико-технических характеристик. В связи с этим прогнозирование затрат на серийное изготовление перспективных образцов В и ВТ целесообразно осуществлять путем предварительной декомпозиции их на отдельные подсистемы. Это позволит учесть основные функциональные особенности тактико-технических характеристик подсистем (составных частей, элементов) и оценить затраты на их создание, а также провести сопоставление затрат с аналогичными подсистемами, которые были созданы ранее [2].

Критическое отставание России (до 5 лет) наблюдается в создании и применении :

- новых перспективных конструкций, сооружений, машин и механизмов;
- географического и метеорологического обеспечения;
- новых материалов и веществ;
- перспективных датчиков и чувствительных элементов;
- оптических и оптико-электронных средств;
- перспективных радиотехнических, радиолокационных и гидроакустических средств;
- новых источников энергии.

Значительно отстала Россия (от 5 до 10 лет) в областях :

- имитации и моделирования ситуаций прогнозирования, подготовки, обоснования и выбора решений;
- создания перспективных средств телекоммуникаций.

Наибольшее отставание (более 10 лет) сложилось в области компьютерных технологий и автоматизированного управления.

Отсутствие соответствующего финансирования технического и технологического перевооружения ОПК вынуждает предприятия только модернизировать уже имеющиеся технологии, что приводит к отставанию России в сфере вооружений, хотя в традиционных областях она имеет передовые наработки.

Из вышесказанного следует, что гособоронзаказ необходимо ориентировать на высокотехнологичную продукцию оборонных отраслей, сти-

муляцию новейших технологий и постановку перспективных НИОКР, направленных на создание принципиально новых образцов В и ВТ, что на фоне сокращения численности вооруженных сил потребует значительного повышения квалификации военнослужащих.

Дальнейшее усовершенствование вооружений оставляет все меньше возможностей для реализации новых технологий на гражданском рынке в силу их возросшей специфичности, что и порождает проблему конверсии. Вовлечение высвободившихся мощностей крупных оборонных предприятий в гражданскую тематику целесообразно проводить на базе масштабных государственных проектов по развитию стратегических отраслей экономики. Ярким примером является проведение конверсии оборонной промышленности нашей страны после окончания Второй мировой войны, когда за два года удалось сократить объемы выпускаемых вооружений и военной техники и восстановить довоенный уровень производства продукции гражданского назначения для удовлетворения быстро растущего спроса на внутреннем рынке, связанного с восстановлением народного хозяйства.

В настоящее время приоритет страны определяется не вооружением, а теми инновационными технологиями, которые рыночный механизм должен стимулировать, развивать, адаптировать к применению в гражданском секторе. Для разработки военно-технической политики главной становится замена гонки вооружений на гонку военных технологий. Все это имеет ряд важных последствий. Так, прорыв в области высоких технологий возможен только благодаря широкомасштабным фундаментальным исследованиям, результаты которых воплощаются в опытно-конструкторских разработках в среднем через 5–7 лет. Критическое положение в области науки сегодня может привести к потере конкурентоспособности, а затем и к ликвидации некоторых видов производств (в качестве примера можно назвать микроэлектронную промышленность). Поэтому необходимо постоянно осуществлять мониторинг ситуации на мировых рынках вооружений с целью недопущения утраты отечественными производителями конкурентоспособности в традиционных областях и стимулировать отечественную фундаментальную науку в создании «интеллектуальной начинки» для военной техники.

Технологические изменения в промышленности военного сектора начались с запуском программы реформ. В ближайшее время следует ожидать качественно нового этапа в развитии военного сектора, который станет следствием решения новых задач, стоящих перед армией, и приведет в ближайшие несколько лет к эволюции производственных сил в военной промышленности. В качестве примера в таблице представлены тенденции и перспективы развития базовых субмикронных технологий структур металл–оксид–полупроводник.

Тенденции и перспективы развития субмикронных технологий

Год первых продаж СБИС* динамической памяти	1997	1999	2003	2006	2009	2012	2018	2030
ДОЗУ**, бит в кристалле	256 Мб	1Гб	4Гб	16Гб	64Гб	256Гб	1 Тб	4Тб
МП***, транзисторов в кристалле	11м	21м	150м	250м	1,4G	1,8G	2,0G	2,5G
Минимальный размер, нм	250	180	130	90	65	30	20	15
Диаметр пластин, мм	200	300	300	300	450	450	450	450
Число слоев разводки	6	6–7	7	7	8	9	9	10
Площадь кристалла ДОЗУ, мм ²	280	400	560	790	1150	1580	1700	1800
Площадь кристалла МП, мм ²	300	340	430	520	620	750	800	800
Рассеиваемая мощность МП, Вт	70	90	130	160	170	175	200	200
Стоимость удельной функции УДОЗ, мкцент/транз	120/ 3000	60/ 1735	15/ 580	5,3/ 255	1,9/ 110	0,6/ 50	0,3/ 30	0,2/ 20
Стоимость стандартного производства, млрд. долл.	1,5	2,0	2,8	5,0	8,0	15,0	20,0	30,0

* СБИС – сверхбольшая интегральная схема.

** ДОЗУ – динамическое оперативное запоминающее устройство.

*** МП – микропроцессор.

Переход в области микро- и нанотехнологий к использованию интеллектуальных систем с малыми габаритами, массами, энергопотреблением и дорогостоящим программным обеспечением может повлечь за собой остановку ряда предприятий ОПК и машиностроения. Поэтому уже сейчас при создании новейших высокотехнологичных систем просматривается зависимость между сокращением Вооруженных сил РФ и уменьшением количества рабочих мест на предприятиях ОПК. При разработке и производстве новейших высокотехнологичных В и ВТ необходимо пересматривать или создавать новую экономическую базу, учитывая соотношение между стоимостью интеллектуального труда и материальными затратами, составляющее в микро- и нанотехнологиях 1,5–7%.

В России необходимо создать новую многоуровневую экономическую модель развития ОПК, для функционирования которой нужна законодательная база, стимулирующая работу предприятий ОПК. На макроуровне эта модель должна быть интегрирована в мировую экономику (СНГ, Китай, Индия и др.). На микроуровне необходимо создавать высокотехнологические парки, обеспечивающие в Российской Федерации все необходимые технологические процессы для решения задач, стоящих перед ОПК. Создание таких парков позволит сэкономить значительные средства на технологическом перевооружении предприятий ОПК.

Интеграция даст возможность предприятиям ОПК определить своё место в мировой экономике, что позволит инвестировать средства только в

те области В и ВТ, которые не ниже мирового уровня, а не приобретать устаревшие оборудование и технологии, заведомо увеличивая отставание от лидеров. Не нужно бороться, чтобы «догнать», нужно брать сейчас самое лучшее и рывком двигаться дальше.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдонин Б. М., Мартынов В. В. Электроника. Вчера. Сегодня. Завтра. Очерки по истории, технологии, экономике. М., 2005. 517 с.
2. Буренок В. М., Косенко А. А., Лабринов Г. А. Техническое оснащение Вооруженных Сил Российской Федерации : организационные, экономические и методологические аспекты. М., 2007. 720 с.

УДК 001.895 :330.342

СТРАТЕГИИ АДАПТАЦИИ СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКЕ

Ю. М. Федорчук

Саратовский государственный технический университет
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77-5/311
E-mail : lj741@yandex.ru

В статье рассматриваются актуальные вопросы адаптации социально-экономической системы высшего профессионального образования к функционированию в высокотехнологичной среде в инновационной экономике. Рассмотрены адаптивные механизмы, направления институциональной перестройки, обеспечивающие переход на инновационный тип развития, инструменты и технологии интеграции науки и вузовского сектора.

Ключевые слова : инновационная экономика, система высшего профессионального образования, стратегическая адаптация, малые инновационные предприятия.

Adaptation Strategies of Higher Education for Innovation Economy

Yu.M. Fedorchuk

The article deals with topical issues of adaptation and social-economic system of higher education to function in high-tech environment in the innovation economy. The adaptive mechanisms, the institutional restructuring to ensure a transition to an innovative type of development tools and technologies to integrate science and university sector.

Key words : innovative economy, system of higher education, strategic adaptation, small innovative companies.

Формирующаяся инновационная экономика основана на постоянном генерировании различного рода инноваций – технологических, продуктовых, организационных, социальных, а также институциональных. Это меняет требования к компетенциям социально-экономических агентов в обществе и экономике и является определяющим фактором в необходимости

их адаптации к инновационному типу развития. Российская система образования в настоящий момент функционирует в условиях активной трансформации внутренней и внешней среды, обусловленной именно адаптацией к вызовам экономики и общества. Главным вызовом на данный момент становится переход от индустриального общества, характеризующегося массовым производством и потреблением, традиционным образованием, стандартизацией и бюрократией, к постиндустриальному обществу, которое отличается разнообразием жизненных стилей, ведущей ролью информационной индустрии, мобильными сетевыми организациями, персонализированными сервисами. Происходит переход от доминанты производства к превалированию сферы услуг, науки, образования. Производство материальных благ, безусловно, сохраняет свою значимость, но его экономическая эффективность уже в большей степени определяется использованием высококвалифицированных кадров, новых знаний, технологий и методов управления.

Индивидуум в данном обществе стоит перед стремительным и повсеместным усложнением всех аспектов профессиональной деятельности и экспоненциальным ростом информации во всех областях функционирования. В связи с этим начинается социальное и материальное расслоение общества по уровню образования. Острая потребность в овладении большим объемом разноплановых знаний, с одной стороны, и ограниченные человеческие возможности – с другой, подводят к следующей ситуации: нужны новые технологии для приобретения такого запаса профессиональных и общекультурных знаний, который необходим с точки зрения объективных потребностей общества. Соответственно возрастает массовый спрос на профессиональное образование, отвечающее потребностям инновационной экономики. Реакцией высшей школы на данные процессы является реинжиниринг всех внутренних процессов и подсистем – педагогических, технологических, инфраструктурных, экономических, и поиск эффективных механизмов их функционирования. Наблюдается смена общественных приоритетов: образование и наука перестают быть обеспечивающей структурой, подстраивающейся под изменения в обществе, и становятся ведущими структурами, генерирующими изменения в обществе.

Образование и вузовская наука всегда относились к инфраструктуре¹, но сегодня они определяют перспективы развития основного производства. Более логичным является включение сектора высшего образования в инновационную ультраструктуру². Образование не может оставаться только услугой, удовлетворяющей текущие запросы. И даже не может пассивно откликаться на запросы будущего. Оно обязано быть инициатором изменений, в том числе в бизнес-среде и в общественном сознании [1]. Система

¹ Инфраструктура (лат. *infra* – ниже, под и лат. *structura* – строение, расположение) – комплекс взаимосвязанных обслуживающих структур или объектов, составляющих и/или обеспечивающих основу функционирования социально-экономической системы. Инфраструктура относится к вспомогательной деятельности.

² В 1983 году профессор Э. Агабабян предложил ввести в научно-терминологический оборот понятие «ультраструктура» (от лат. *ultra* – сверх, более); в сложных словах означает «находящийся за пределами чего-либо».

высшего профессионального образования реформируется на основе активизации инновационной деятельности и посредством формирования соответствующей инфраструктуры. Качественное образование и подготовка высококлассных специалистов возможны лишь на основе проведения фундаментальных исследований, их высокой доли в структуре вузовской науки [2]. Императивом обеспечения инновационного развития высшей школы становится интеграция науки и образования и активизация инновационного предпринимательства в этой сфере.

Инновационные знания, достижения и технологии будущего – принципиально новые ресурсы – создаются в известной степени в результате инновационной деятельности высших учебных заведений. Данная деятельность вузов предполагает целый комплекс организационных, научных, технологических, финансовых и коммерческих мероприятий, которые в своей совокупности приводят к коммерциализации результатов научных исследований и разработок. Инновационность вузовской среды зависит от многих факторов, основными из которых являются накопленный интеллектуальный потенциал, институциональная основа, соответствующая нормативно-законодательная база и наличие инвестиционных ресурсов. Перед высшим профессиональным образованием ставится триединая задача : проведение научных исследований, подготовка специалистов и материализация (включение в рыночный оборот) результатов НИОКР [3]. В этом уникальность высшего профессионального образования, так как ни один общественный институт не может одновременно генерировать современное знание и транслировать его.

Но на сегодняшний день наблюдается институциональное разделение продуцирования и воспроизведения знаний – высшая школа ведет обучение без исследования, академия – исследование без обучения. Все это не позволяет эффективно использовать специфику университета, который составляет нераздельное единство этих двух начал.

Таким образом, социально-экономическая система высшего профессионального образования (ВПО), адаптируясь к новым условиям функционирования в инновационной экономике, принципиально меняет содержание отношений с внешними субъектами, что приводит к эволюционным преобразованиям микро- и макросреды ВПО. Это, в свою очередь, определило направления трансформации взглядов на роль, значение, цели и задачи функционирования вуза как в теоретическом плане, так и в практическом приложении и потребовало методологической поддержки. Адаптация – это процесс эволюционного изменения, путем которого система обеспечивает лучшее решение поставленной перед ней проблемы, а конечный результат – это состояние адаптированности. Концепция стратегической адаптации в условиях инновационной экономики представляет собой предсуществующую среду, ставящую перед системой ВПО проблему, которая решается посредством реализации адаптивного потенциала высшей школы, через выбор соответствующих механизмов адаптации. Под адаптивным потенциалом высшей школы понимается совокупность мобилизационных возможностей каждого вуза и системы в целом, обеспечивающих не только необходимое приспособление к вызовам среды, но и устойчивое развитие в из-

менившихся социально-экономических условиях. Для анализа направлений адаптации необходимо построить дерево проблем для современной социально-экономической системы высшего профессионального образования, которое включает :

- недостаточную скоординированность действий по реализации мероприятий, связанных с развитием образовательной системы. Часто проводимые эксперименты в системе образования нередко осуществляются как самостоятельные и самодостаточные мероприятия;

- низкую осведомленность работников сферы образования относительно целей и задач модернизации, отсутствие у них мотивации к участию в преобразованиях;

- нерешенность наиболее значимых для педагогического корпуса проблем, в частности, вопросы, связанные с достойным уровнем заработной платы преподавателей, пенсионным обеспечением, их социальным статусом;

- неразвитость системы непрерывного профессионального образования как механизма обеспечения текущих и перспективных потребностей экономики в профессиональных кадрах необходимой квалификации;

- низкую инвестиционную привлекательность системы высшего профессионального образования в целом;

- снижение качества образования при массовом охвате молодежи высшим профессиональным образованием;

- отсутствие эффективной общественно-государственной системы контроля качества образования, направленной на адекватную и гласную оценку результата работы учебных заведений и педагогов, расширение участия различных социальных и профессиональных групп в развитии образования;

- неэффективность системы финансово-экономических механизмов ресурсного обеспечения образовательной деятельности на всех уровнях управления образованием;

- неэффективность механизмов реализации инновационного потенциала системы ВПО;

- отсутствие механизмов сосредоточения ресурсов на наиболее приоритетных направлениях развития образования;

- низкий уровень включенности российского образования в мировое образовательное пространство;

- недостаточную интеграцию образования и науки в высшей школе.

В соответствии с этим можно определить задачи реформирования :

- институциональная перестройка подсистем социально-экономической системы ВПО для осуществления перехода к системе образования постиндустриального общества с экономикой, основанной на знаниях;

- разработка и внедрение механизмов интеграции науки и образования в социально-экономической системе высшего профессионального об-

разования с использованием ее интеллектуального и предпринимательского потенциала.

Ядро концептуальной модели стратегической адаптации высшей школы к условиям инновационной экономики представляет собой многоуровневую систему, в основе которой лежит реализация адаптивных потенциалов всех внутренних подсистем ВПО, что придает устойчивость развития и долговременность получаемых положительных результатов [4]. Адаптивные механизмы, обеспечивающие переход на инновационный тип развития, должны быть инновационными по своему характеру, содержать новые инструменты и технологии. Но адаптация социально-экономической системы ВПО только с опорой на педагогические и организационные инновации менее устойчива, чем внедрение институциональных инноваций. Полноценная реализация потенциалов научной и других подсистем может начаться только с определенного уровня реализации адаптивного потенциала организационно-экономической подсистемы и связанного с ней инвестиционного обеспечения.

Адаптация требует постановки адекватных задач в сфере образования. Образование должно не только обеспечивать высокий уровень профессиональной подготовки выпускников вузов, но и формировать у них такие качества, как способность к системному видению реальности, умение формулировать цели инновационного развития в своей области, творчески ставить и решать проблемы, обладать способностью к диалогу, адаптации в коллективе, совместной работе. Рассмотрим одно из направлений – интеграцию высшего образования, науки и экономических субъектов для коммерциализации исследований, реализации инновационного потенциала вузов и вывод на рынок новых продуктов и технологий.

Интеграция высшего профессионального образования и науки может осуществляться в разных формах, а именно :

1) проведение высшими учебными заведениями научных исследований и экспериментальных разработок за счет грантов или иных источников финансирования;

2) привлечение высшими учебными заведениями работников научных организаций и научными организациями – работников высших учебных заведений на договорной основе для участия в образовательной и/или научной деятельности;

3) осуществление высшими учебными заведениями и научными организациями совместных научно-образовательных проектов, научных исследований и экспериментальных разработок, а также иных совместных мероприятий на договорной основе;

4) реализация научными организациями образовательных программ послевузовского профессионального образования, а также образовательных программ дополнительного профессионального образования;

5) создание научными организациями на базе высших учебных заведений лабораторий, осуществляющих научную и/или научно-техническую

деятельность в порядке, установленном уполномоченным правительством РФ федеральным органом исполнительной власти;

б) создание высшими учебными заведениями на базе научных организаций кафедр, осуществляющих образовательный процесс в порядке, установленном уполномоченным правительством РФ федеральным органом исполнительной власти [5].

Для реализации данных форм интеграции высшего профессионального образования и науки, введения в процесс полноправного партнера (стороннего инвестора), а также сведения их в единую институционально-правовую конструкцию был принят Федеральный закон РФ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности» №217-ФЗ от 02.08.2009 г.

Инкубирование и генерация предприятий малого наукоемкого бизнеса, связанных с вузом, – одно из самых перспективных направлений деятельности вуза по коммерциализации собственной интеллектуальной деятельности, так как интеллектуальный и предпринимательский потенциал в этой среде сосредоточен огромный, а этот механизм позволяет его реализовать с наименьшими транзакционными издержками.

До принятия данного закона наблюдалась институциональная неспособность вузов к реализации своего интеллектуального потенциала в рыночной среде. Не было механизма, законодательной смычки интересов владельцев интеллектуальных и инвестиционных ресурсов, правовой конструкции, переводящих эти разработки на промышленные рельсы. Возможные варианты образования хозяйственных обществ, использующих интеллектуальные и материальные ресурсы вуза и частные инвестиции, не имели законодательного основания. Институционально вузы ограничены узким коридором своих действий в рыночной экономике, в том числе по стандартным действиям как, например, создание с партнером юридического лица под конкретный проект. Большой проблемой является то, что большинство результатов интеллектуальной деятельности в настоящее время создается государственными научными и образовательными организациями за счет бюджетных средств. Юридически не определен порядок выплаты авторских вознаграждений при внесении в уставный капитал малого предприятия изобретений, выполненных в рамках государственных контрактов. Права на такие изобретения принадлежат вузу-исполнителю контракта, но сами изобретения были созданы соисполнителем государственного контракта.

Рассмотрим особенности организации совместных малых инновационных предприятий (МИП) по принятому Федеральному закону № 217-ФЗ,

формирующему правовую основу для инновационных предприятий, созданных при бюджетных научных учреждениях и государственных высших учебных заведениях [6].

Принятый закон предоставляет различные возможности для участников инновационного процесса :

– для вузов и научных организаций – это новый легитимный экономический механизм, позволяющий продвигать созданные научные результаты и знания на рынок, участвовать в прибыли и управлении создаваемыми с их участием предприятиями;

– для выпускников – это создание новых предприятий и возможность реализации их идей и проектов и трудоустройства по специальности;

– российской экономике в целом внедрение научных разработок позволит сформировать базу для расширения научно-технического и инновационного потенциала и снизить технологическую зависимость от импорта.

Инновационно активные вузы могут учреждать хозяйственные общества, вносить в их уставный капитал право использования принадлежащих вузу результатов инновационной деятельности (РИД) на основании лицензионных договоров, а также денежные средства, оборудование и иное имущество, находящиеся в оперативном управлении вуза, привлекать других лиц в состав учредителей обществ (при этом доля вуза в акционерных обществах должна составлять не менее 25% уставного капитала, в хозяйственных обществах – 1/3) при условии, что основным видом деятельности создаваемых обществ будет деятельность, направленная на практическое применение РИД.

Государство определило основные пути оказания финансовой поддержки создаваемым предприятиям – предполагается создание Российской венчурной компанией посевного фонда, деятельность которого будет направлена на реализацию закона № 217-ФЗ. Российская венчурная компания выделит на эти цели 2 млрд руб. Кроме того, для поддержки МИПов может быть использована программа правительства по поддержке малого и среднего бизнеса, а также программа СТАРТ Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, в рамках которой формируется специальный раздел по поддержке стартующих хозяйственных обществ (МИПов), учреждаемых в соответствии с законом № 217-ФЗ.

Практика показала, что ожидания от реализации данного закона были немного завышены. По данным Министерства образования РФ, летом 2009 г. (накануне принятия закона к его реализации) 187 вузов были готовы инициировать создание МИПов, что должно было обеспечить более 30 тыс. новых рабочих мест [7]. Но по итогам лета 2010 г. (по данным официальных источников) при вузах было создано 411 хозяйственных обществ, из которых 33 имели уставной капитал в размере от 100 до 500 тыс. руб., 6 –

более 1 млн руб. По неофициальным данным, всего 39 МИП имеют уставной капитал более 100 тыс. руб., остальные 372 хозяйственных общества внесли в свои уставные капиталы порядка 25–30 тыс. руб. в виде прав на использование своей интеллектуальной собственности.

Происходит это потому, что сам по себе закон № 217-ФЗ носит частично декларативный характер и отнюдь не решает множества проблем, связанных с его практической реализацией. Рассмотрим основные из них.

1. Бюджетные учреждения оказались не готовы вкладывать свои РИД, так как большая их часть не стоит на балансе учреждений либо они отражены в учете по минимальной стоимости, поэтому прибыль по активу у вуза минимальна. Данная ситуация является классической, потому что до сих пор организации не стремились формализовать нематериальные активы, так как это достаточно затратно. К тому же при постановке на бухгалтерский учет патентов на изобретения, полезные модели и других результатов интеллектуальной деятельности, созданных за счет бюджетных средств, сформированная стоимость нематериального актива уменьшает доходы вуза через амортизационные отчисления в период срока эксплуатации РИД. В результате увеличивается налогооблагаемая база по налогу на прибыль и сама сумма налога. Теперь вузам нужна правовая схема постановки на баланс полученных ранее РИД без штрафных санкций. Особенно значительные расходы влечет получение международных охраняемых документов, которые необходимы для конкуренции отечественных изобретений на международном рынке инноваций. Более реальным видится нахождение частного соинвестора на конкретный актив, а затем его формализация.

2. Самая актуальная проблема на сегодняшний день – это правовая нереализуемость закона по формированию уставного капитала создаваемого инновационного предприятия за счет денежных средств и иного имущества. Согласно ст. 296, 298 Гражданского кодекса РФ бюджетное учреждение не вправе распоряжаться имуществом, закрепленным за ним собственником. Данными статьями определен правовой режим имущества, находящегося в оперативном управлении учреждения. В ст. 296 ГК РФ говорится, что «... учреждения, за которыми имущество закреплено на праве оперативного управления, владеют, пользуются и распоряжаются этим имуществом в пределах, установленных законом, в соответствии с целями своей деятельности, заданиями собственника этого имущества и назначением этого имущества». В ст. 298 содержится запрет бюджетным учреждениям на отчуждение или другие способы распоряжения «имуществом, закрепленным за ним собственником или приобретенным этим учреждением за счет средств, выделенных ему собственником на приобретение такого имущества». Сейчас готовится соответствующий законопроект «О внесении изменений в некоторые законодательные акты РФ в части реализации положений Федерального закона от 2 августа 2009 года № 217-ФЗ». Законопроектом

вносятся изменения в ст. 298 Гражданского кодекса РФ, предоставляющие бюджетным учреждениям право отчуждать либо иным способом распоряжаться имуществом в установленных законом случаях. Но это достаточно революционное предложение, открывающее возможные злоупотребления и приводящее к возникновению спорных ситуаций.

3. Следующая важная проблема связана с банкротством предприятий малого инновационного бизнеса. Процедура банкротства МИП, учредителями которых являются бюджетные учреждения науки и образования, по другому, 120 Федеральному закону, осложнена «... поскольку учредители должны расплачиваться по своим обязательствам либо деньгами, либо (если денег нет) собственностью» [8]. Это обстоятельство может иметь в качестве последствия отчуждение площадей. С возможной потерей собственности связаны и опасения о рейдерских атаках на малые инновационные предприятия. В уставный капитал таких хозяйственных обществ могут быть переданы не только права на РИД, но и производственные фонды, уникальное оборудование и недвижимость. Другие участники также могут половину своей доли в уставном капитале оплатить правами на РИД, материалами, оборудованием или иным имуществом, необходимым для практического применения РИД. Эти активы достаточно привлекательны, и поэтому новое общество может стать объектом принудительного поглощения.

4. Однако пока для вновь образованных предприятий гораздо более реалистичными представляются проблемы финансирования и аренды технологической инфраструктуры (приборы, помещения), ведь на одной интеллектуальной собственности бизнес развивать невозможно. По закону 217-ФЗ предполагается, что на таких предприятиях будут работать студенты, аспиранты, сотрудники университета. Частично проблема с использованием инфраструктуры будет решаться (ведь они имеют непосредственное отношение к вузу), но не в случае с арендой помещений.

5. Отсутствуют специальные меры поддержки МИП – нет преимуществ хозяйственным обществам по аренде площадей вуза, невозможность заключения договора аренды сразу после учреждения (необходим тендер) : в соответствии с законом № 94-ФЗ помещения, находящиеся в оперативном управлении, можно предоставлять в аренду на конкурсной основе по рыночной стоимости, следовательно, участник конкурса, предложивший наибольшую цену, становится арендатором. В основном вузы расположены в центре или близ центра города, где арендная плата максимально высока и для большинства вновь созданных хозяйственных обществ обременительна.

6. Доходы от распоряжения долями (акциями) в уставных капиталах хозяйственных обществ, а равно часть прибыли хозяйственных обществ, полученные научными и образовательными учреждениями, поступают в их самостоятельное распоряжение и могут направляться только на правовую

охрану результатов интеллектуальной деятельности, выплату вознаграждения их авторам, а также на осуществление уставной деятельности данных учреждений. Вместе с тем для реализации бюджетными учреждениями указанных полномочий необходимо внести изменения в бюджетное законодательство Российской Федерации, предусматривающие возможность использования доходов от результатов интеллектуальной деятельности или от участия в коммерческих организациях на установленные цели. Без таких поправок в Бюджетный кодекс РФ учреждения в настоящее время не вправе распоряжаться указанными доходами.

7. Помимо перечисленных проблем вновь создаваемые предприятия могут также столкнуться с рядом обстоятельств практического характера, таких как отсутствие квалифицированных специалистов для организации инновационного бизнеса, которые будут заниматься, в частности, вопросами интеллектуальной собственности, регистрацией патентов и т.д., а также незаинтересованностью предпринимательского сектора экономики в инвестировании инновационных проектов МИП, имеющих длительный срок окупаемости. Налицо неподготовленность бизнес-структур к формированию запроса на совместную с вузом хозяйственную деятельность и к взаимодействию в этой сфере.

Для нивелирования указанных проблем необходимо :

- привлечь в вузы высококвалифицированных менеджеров, бизнес-аналитиков, патентоведов и маркетологов;
- сформировать инфраструктуру трансфера технологий;
- подготовить новые площадки для размещения малых фирм в вузовских технопарках, инновационных центрах и бизнес-инкубаторах;
- создать системы мониторинга и управления результатами интеллектуальной деятельности;
- разработать соответствующее информационное и методическое обеспечение;
- довести закон до рабочего состояния, и после решения нормативно-правовых вопросов в дальнейшем на первый план по своей значимости выйдут вопросы экономического плана : объективная оценка инновационного потенциала научно-технических разработок и объектов интеллектуальной собственности, маркетинговый анализ, бизнес-планирование, привлечение инвестиций, участие в управлении и контроле учрежденных обществ;
- разработать и принять поправки в Налоговый кодекс РФ. Они должны легитимизировать получение дивидендов бюджетными учреждениями от предпринимательской деятельности;
- использовать формы мезанинного капитала. Данному источнику финансирования присущи преимущества и достоинства как собственных

средств (долгосрочность, отсутствие обязательств перед кредитором и фиксированных процентных расходов), так и заемных средств – генерирование значительных и растущих денежных потоков, возможность неограниченного расширения объемов заимствований, способность в короткие сроки обеспечить инвестирование. Этим условиям удовлетворяет использование специализированных инвестиционных фондов, из которых и реализуется инвестирование проектов в форме частичных (траншевых) фондовых кредитов [9]. При такой форме кредитования не начисляются проценты по кредиту и не возвращается сам кредит, а вместо этого кредитор оформляет свое «тихое участие» в виде 49% чистой прибыли реализованного и сданного в эксплуатацию проекта на период до 20 лет, согласуемое в кредитном договоре между сторонами. Наряду с Организацией участниками инвестиционного процесса выступают Фонд, Консультант и Банк. Организация представляет в Фонд комплект документов и подтверждает наличие определенной величины собственных инвестиционных средств по проекту. Фонд размещает свои инвестиционные активы в депозит Банка и дает согласие финансировать инвестиционный проект, готовя договорную документацию. Консультант получает от Организации заказ на проведение экономической экспертизы, которая открывает текущий счет в Банке с зачислением на него необходимых собственных инвестиционных средств. Далее средства переводятся с текущего счета на банковский счет, указанный Фондом. Консультант выдает Фонду сертификат о соответствии бизнес-плана проекта международному стандарту. Организация выпускает при поддержке Банка инвестиционные ценные бумаги, приобретаемые им за счет депозита. Денежные средства от покупки этих ценных бумаг переводятся на счет Организации, после чего начинается срок возвращения предоставленных активов из чистой прибыли Организации, который может длиться до 20 лет под управлением и контролем Банка, выполняющего при этом функции Ревизора. Данная рекомендация особенно актуальна в связи с докапитализацией к 2011 году Фонда Бортника и учреждением Российской венчурной компанией фонда в размере 2 млрд руб.;

- на наш взгляд, необходимо законодательно установить ограничение на размер арендных платежей для МИПов;

- установить пониженные размеры патентных пошлин, а также рассрочек по их уплате для научных и образовательных учреждений;

- ввести упрощенную систему налогообложения для малых инновационных предприятий и предоставить налоговые каникулы в течение первых двух лет работы;

- закрепить в гл. 25 Налогового кодекса РФ норму, освобождающую указанные учреждения от обложения налогом на прибыль организаций (в случае возникновения налоговой базы) при постановке на бухгалтерский

учет результатов интеллектуальной деятельности, созданных за счет бюджетных средств (налоговая амнистия).

Основная проблема всех современных институциональных реорганизаций в России заключается в характере запоздалой реакции на изменения. Если в США данные законодательные трансформации происходили эволюционно, исходя из экономических потребностей, то сейчас мы пытаемся адаптировать институциональные структуры к современной экономике через импортируемые социально-правовые конструкции. Но все равно делать это необходимо, и реализация данного механизма позволит включить вузы в рыночную среду, реализовать предпринимательский потенциал высокоинтеллектуальной активной части общества, решить задачи построения инновационной экономики в нашей стране.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Медведев Д. А.* Стенографический отчет о совместном заседании Государственного совета и Комиссии по модернизации и технологическому развитию экономики России от 31.08.2010 г. URL : <http://kremlin.ru/transcripts/8786> (дата обращения : 14.05.2011).

2. *Салимьянова И. Г.* Инновационная ультраструктура как составляющая национальной экономики // Вестн. ИНЖЕКОНА. 2010. Серия : Экономика. Вып. 2(37). С. 49–57.

3. *Федоров М. П.* Роль университетов в инновационной экономике // Инновации. 2007. № 2. С. 71.

4. *Дорошенко С. В.* Стратегическая адаптация региональной социально-экономической системы к инновационному типу развития : автореф. дис... . канд.экон.наук. Екатеринбург, 2010. С. 6–8.

5. Федеральный Закон РФ «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» от 22 августа 1996 г. № 125-ФЗ. в ред. ФЗ от 1 декабря 2007 г. № 308-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам интеграции образования и науки». URL : <http://mvf.klerk.ru/zakon/125fz.htm> (дата обращения : 15.05.2011).

6. Федеральный Закон РФ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности» № 217-ФЗ от 02.08.2009 г. URL : <http://www.rg.ru/2009/08/04/int-dok.html> (дата обращения : 15.05.2011).

7. В рамках программы СТАРТ будет оказываться поддержка создаваемым при вузах малым инновационным предприятиям : Министерство образования и науки Российской Федерации : пресс-релиз Министерства образования и науки РФ. URL : <http://mon.gov.ru/press/reliz/5629/> (дата обращения : 14.05.2011).

8. *Горбатова А.* 217-ФЗ : закон принят, а действует ли он? URL : http://strf.ru/-organization.aspx?CatalogId=221&d_no=25423 (дата обращения : 14.05.2011).

9. *Романенко Р. Ю.* Инновационные технологии обеспечения инвестиционной деятельности организаций : автореф. дис... . канд. экон. наук. Белгород, 2009. С. 11–12.

**АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ
НА ИННОВАЦИОННУЮ АКТИВНОСТЬ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

О. А. Мызрова

Саратовский государственный технический университет
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77
E-mail : Olga_Myzrova@mail.ru

В статье рассмотрены факторы, оказывающие влияние на инновационную активность промышленных предприятий Саратовской области, выявлена корреляционная зависимость между производственными и экономическими факторами и результатами разработки и внедрения инновационных технологий.

Ключевые слова : инновации, экономические факторы, производственные факторы, организационные факторы, политико-правовые факторы, социально-психологические факторы, инновационная активность.

**Analysis and Assessment of Factors Affecting
for Innovation Activity of Industrial Enterprises**

O. A. Myzrova

The article deals with factors that influence the innovative activity of industrial enterprises of the Saratov region, found correlations between production and economic factors and the development and introduction of innovative technologies.

Key words : innovation, economic factors, production factors, organizational factors, political and legal factors, sociopsychological factors, innovation activity.

Одной из проблем, возникающих при внедрении инноваций в производственную деятельность предприятий, является учет факторов, способных затормозить или ускорить инновационный процесс. Поэтому их следует тщательно изучать при принятии решения об оптимальном способе его построения. Традиционно в научной литературе выделяют экономические, технологические, политические, правовые, социально-психологические, культурные и организационно-управленческие факторы. Обобщенная классификация этих факторов представлена в табл. 1.

Среди экономических факторов основное или решающее значение для предприятий Поволжского региона и Саратовской области имеют :

- недостаток собственных денежных средств;
- высокая стоимость нововведений;
- недостаток финансовой поддержки со стороны государства.

Наибольшее сдерживающее влияние на проведение инновационной деятельности предприятий области оказывают следующие производственные факторы :

- низкий инновационный потенциал предприятий;
- недостаток квалифицированного персонала.

Факторы, влияющие на инновационную деятельность предприятия

Факторы	Препятствующие инновационной деятельности	Способствующие инновационной деятельности
Экономические, технологические	Недостаток средств для финансирования инновационных проектов, слабость материальной и научно-технической базы, отсутствие резервных мощностей, доминирование интересов текущего производства	Наличие резерва финансовых и материально-технических средств, прогрессивных технологий, необходимой хозяйственной и научно-технической инфраструктуры
Политические, правовые	Ограничения со стороны антимонопольного, налогового, амортизационного, патентно-лицензионного законодательства	Законодательные меры (особенно льготы), поощряющие инновационную деятельность, государственная поддержка инноваций
Социально-психологические, культурные	Сопротивления переменам, которые могут вызвать изменение статуса сотрудников, необходимость поиска новой работы, перестройку устоявшихся способов деятельности, нарушение стереотипов поведения и сложившихся традиций	Моральное поощрение участников инновационного процесса, общественное признание, обеспечение возможностей самореализации, освобождение творческого труда. Нормальный психологический климат в трудовом коллективе
Организационно-управленческие	Устоявшаяся организационная структура компании, излишняя централизация, авторитарный стиль управления, преобладание вертикальных потоков информации, ведомственная замкнутость, трудность межотраслевых межорганизационных взаимодействий, жесткость в планировании, ориентация на сложившиеся рынки, ориентация на краткосрочную окупаемость, сложность согласования интересов участников инновационных процессов	Гибкость оргструктуры, демократичный стиль управления, преобладание горизонтальных потоков информации, самопланирование, допущение корректировок, децентрализация, автономия, формирование целевых рабочих групп

Другие причины :

- недостаток законодательных и нормативно-правовых документов, регулирующих и стимулирующих инновационную деятельность;
- неразвитость инновационной структуры;
- низкий спрос со стороны потребителей на инновационную продукцию;
- неразвитость рынка технологий;
- неопределенность сроков инновационного процесса (табл. 2–4), рассчитано по [1–5]).

Таблица 2

**Доля предприятий, оценивших факторы, препятствующие инновациям
на промышленных предприятиях Саратовской области,
как незначительные или малосущественные, %**

Фактор	Год				
	2002	2003	2005	2006	2009
<i>Экономический</i>					
Недостаток собственных денежных средств	7,3	12,8	12,7	12,8	12,7
Недостаток финансовой поддержки со стороны государства	20,6	26,5	25,2	23,1	22,6
Низкий платежеспособный спрос на новые продукты	44,7	55,5	38,7	57,2	52,3
Высокая стоимость нововведений	12,6	21,2	13,9	13,3	14,0
Высокий экономический риск	43,8	37,6	36,9	34,1	29,0
<i>Производственный</i>					
Низкий инновационный потенциал предприятия	40,0	45,5	47,8	45,3	44,5
Недостаток квалифицированного персонала	63,6	60,0	61,8	59,6	55,2
Недостаток информации о новых технологиях	67,9	61,5	72,2	70,2	84,6
Недостаток информации о рынках сбыта	63,1	64,7	73,5	71,6	68,1
Недостаток возможностей для кооперирования с другими предприятиями и научными организациями	54,8	70,5	70,6	74,8	68,1
Недостаточность законодательных и нормативно-правовых документов, регулирующих и стимулирующих инновационную деятельность	43,3	56,5	50,2	51,4	54,1
Неразвитость инновационной инфраструктуры	50,3	56,3	58,6	56,4	58,0
Неопределенность экономической выгоды от использования интеллектуальной собственности	47,8	31,4	58,8	55,1	51,1

Таблица 3

**Доля предприятий, оценивших факторы, препятствующие инновациям
на промышленных предприятиях Саратовской области,
как значительные, %**

Фактор	Год				
	2002	2003	2005	2006	2009
<i>Экономический</i>					
Недостаток собственных денежных средств	28,5	31,0	32,4	40,0	42,7
Недостаток финансовой поддержки со стороны государства	44,1	43,6	43,5	47,1	44,9
Низкий платежеспособный спрос на новые продукты	38,5	30,7	42,8	29,7	31,8
Высокая стоимость нововведений	50,3	45,4	47,5	50,2	53,2
Высокий экономический риск	36,1	44,0	40,1	42,0	48,6

Окончание табл. 3

Фактор	Год				
	2002	2003	2005	2006	2009
<i>Производственный</i>					
Низкий инновационный потенциал предприятия	32,4	28,0	32,5	37,3	31,6
Недостаток квалифицированного персонала	27,9	28,0	28,1	28,1	31,5
Недостаток информации о новых технологиях	26,5	31,4	22,8	25,4	22,1
Недостаток информации о рынках сбыта	28,6	27,2	19,8	23,2	25,2
Недостаток возможностей для кооперирования с другими предприятиями и научными организациями	36,3	22,2	20,8	20,2	26,7
Недостаточность законодательных и нормативно-правовых документов, регулирующих и стимулирующих инновационную деятельность	38,3	28,3	33,2	36,1	29,1
Неразвитость инновационной инфраструктуры	32,2	32,3	28,1	35,1	28,6
Неопределенность экономической выгоды от использования интеллектуальной собственности	42,3	53,6	31,2	31,0	33,3

Таблица 4

Доля предприятий, оценивших факторы, препятствующие инновациям на промышленных предприятиях Саратовской области, как основные или решающие, %

Фактор	Год				
	2002	2003	2005	2006	2009
<i>Экономический</i>					
Недостаток собственных денежных средств	64,2	56,2	54,9	47,2	44,6
Недостаток финансовой поддержки со стороны государства	35,3	29,9	31,3	29,8	32,5
Низкий платежеспособный спрос на новые продукты	16,8	13,8	81,5	13,4	15,9
Высокая стоимость нововведений	37,1	33,4	38,6	35,5	32,8
Высокий экономический риск	20,1	18,4	23	23,9	22,4
<i>Производственный</i>					
Низкий инновационный потенциал предприятия	27,6	26,5	19,7	17,5	23,9
Недостаток квалифицированного персонала	8,5	12,0	10,1	12,3	13,3
Недостаток информации о новых технологиях	5,6	92,9	5,0	4,4	6,7
Недостаток информации о рынках сбыта	7,3	8,1	6,7	5,2	6,7
Недостаток возможностей для кооперирования с другими предприятиями и научными организациями	8,9	7,3	8,6	5,0	5,2
Недостаточность законодательных и нормативно-правовых документов, регулирующих и стимулирующих инновационную деятельность	18,4	15,2	16,6	12,5	16,8

Фактор	Год				
	2002	2003	2005	2006	2009
Неразвитость инновационной инфраструктуры	17,5	11,4	13,3	8,5	13,4
Неопределенность экономической выгоды от использования интеллектуальной собственности	9,9	15,0	10,0	13,9	15,6

Как видно из табл. 2–4, основное или решающее влияние на развитие инновационной деятельности оказывают экономические факторы, среди которых первое место занимает недостаток собственных денежных средств. Достаточно стабильная ситуация, сложившаяся в экономике страны перед кризисом 2009 года, позволила 17% предприятий Саратовской области снизить существенную зависимость от данного фактора. Второе место в этой группе занимает высокая стоимость нововведений. В среднем за анализируемый период 1997–2009 гг. этот фактор выделили 36,15% предприятий.

Следующим по значимости фактором стоит недостаток финансовой поддержки со стороны государства (в среднем 31,6%). Динамика экономических факторов за 2002–2009 гг. представлена на рис. 1.

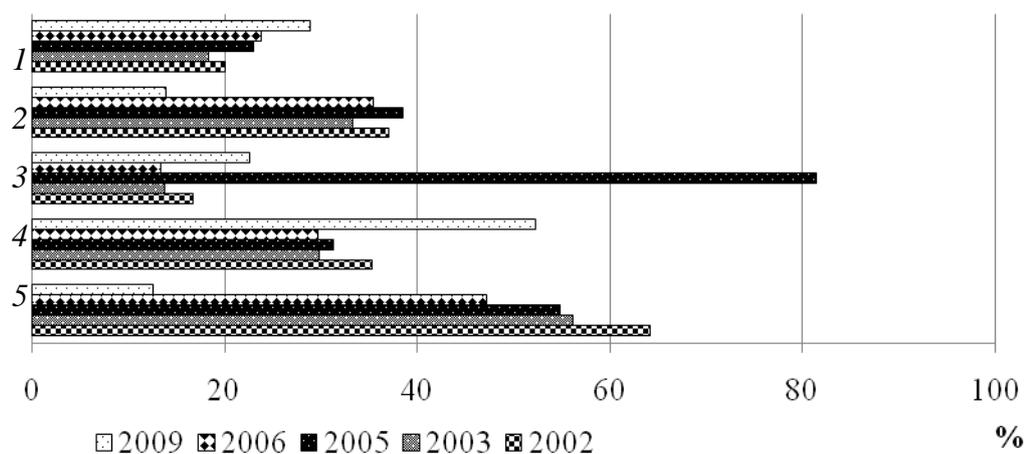


Рис. 1. Динамика экономических факторов, значительно препятствующих развитию инновационной деятельности (рассчитано по [1–5]): 1 – высокий экономический риск; 2 – высокая стоимость нововведения; 3 – низкий платежеспособный спрос на новые продукты; 4 – недостаток финансовой поддержки со стороны государства; 5 – недостаток собственных денежных средств

Производственные факторы незначительно препятствуют инновационной деятельности машиностроительных предприятий, хотя в 2003 г. недостаток информации о новых технологиях (92,2% предприятий отметили этот фактор) оказывал значительное влияние на внедрение в производство нововведений. Динамика производственных факторов представлена на рис. 2.

Каждый фактор имеет свое влияние на инновационную деятельность машиностроительных предприятий. Для определения зависимости и степени связи между факторами и инновационной деятельностью воспользуемся формулой корреляции Пирсона :

$$R_{xy} = \frac{n \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2] \cdot [n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

где x, y – две случайные величины, определённые на одном вероятностном пространстве. В нашем случае это результат инновационной деятельности и фактор, оказывающий на нее влияние.

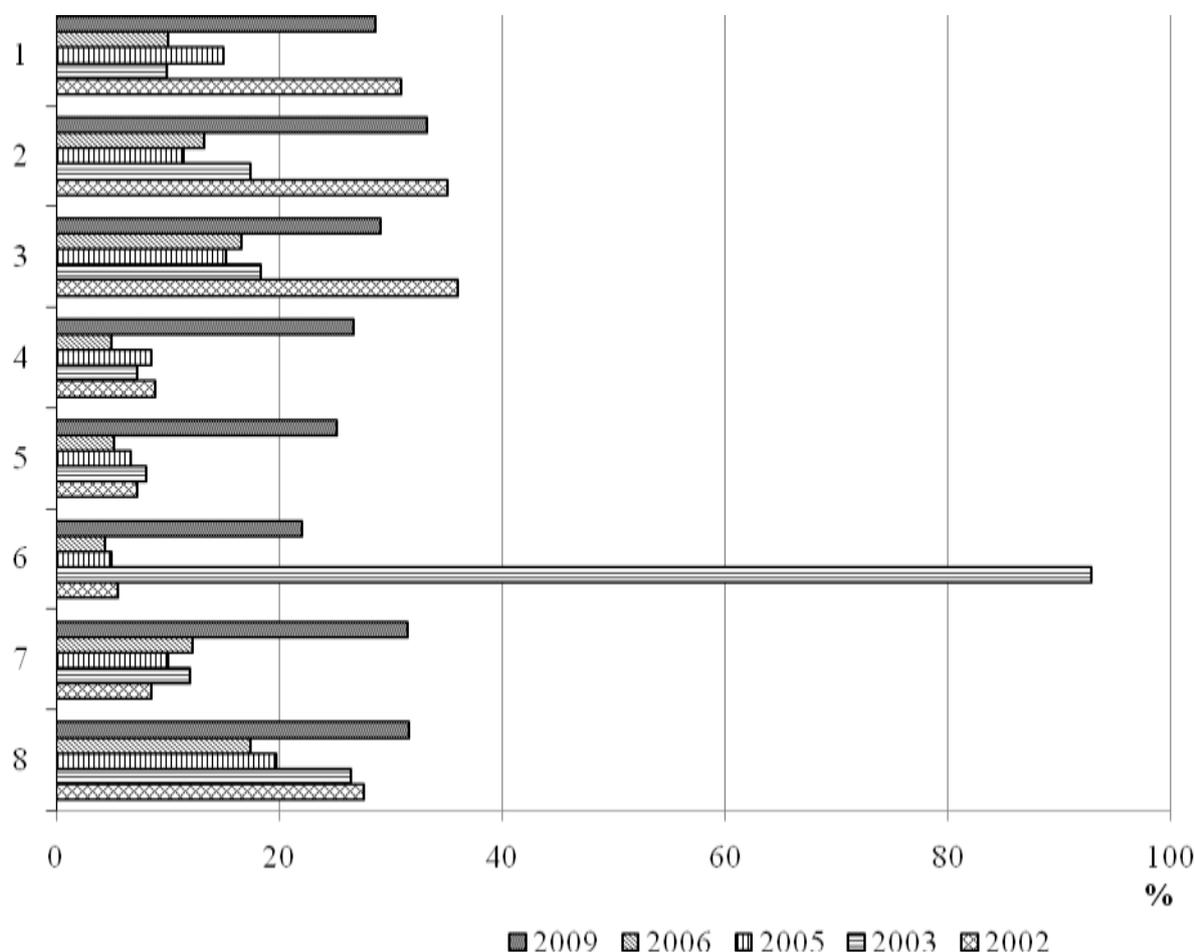


Рис. 2. Динамика производственных факторов, значительно препятствующих инновационной деятельности (рассчитано по [1–5]) : 1 – неопределенность экономической выгоды от использования интеллектуальной собственности; 2 – неразвитость инновационной инфраструктуры; 3 – недостаточность законодательных и нормативно-правовых документов; 4 – недостаток возможностей для кооперирования с другими предприятиями; 5 – недостаток информации о рынках сбыта; 6 – недостаток информации о новых технологиях; 7 – недостаток квалифицированного персонала; 8 – низкий инновационный потенциал

Значение коэффициента корреляции Пирсона может находиться в интервале $-1 \leq R_{x,y} \leq +1$. Отрицательное значение коэффициента свидетельствует об обратной связи, положительное – о прямой. Если коэффициент равен нулю, то связь отсутствует. Чем ближе коэффициент корреляции по абсолютному значению к единице, тем теснее связь между факторным и результативным признаками. Если коэффициент равен ± 1 , то связь является функциональной.

Проведенные расчеты позволили выявить степень связи и влияние экономических и производственных факторов на количество созданных и использованных передовых производственных технологий (технологические инновации). Данные расчетов представлены в табл. 5.

Таблица 5

Корреляционная зависимость между экономическими факторами и результатами инновационной деятельности (рассчитано по [1–5])

Влияние	Факторы				
	Недостаток собственных денежных средств	Недостаток финансовой поддержки со стороны государства	Низкий платежеспособный спрос на новые продукты	Высокая стоимость нововведений	Высокий экономический риск
<i>Количество созданных передовых производственных технологий</i>					
Незначительное или малосущественное	0,011385	-0,52646	0,062826	-0,80865	-0,35767
Значительное	0,99124	0,763601	0,409906	0,377128	-0,96988
Основное или решающее	-0,532825578	-0,021656678	0,0183978	0,39960274	0,891623795
<i>Количество использованных передовых производственных технологий</i>					
Незначительное или малосущественное	0,742503	0,830016	-0,04906	0,823836	-0,24051
Значительное	0,705681	0,322468	-0,40759	-0,44591	0,877951
Основное или решающее	-0,53573	-0,44364	0,165292	-0,37276	-0,25419

Как видно из табл. 5, для предприятий, имеющих достаточно устойчивое положение на рынке, наиболее тесную связь с количеством созданных передовых производственных технологий имеет фактор высокой стоимости нововведений, тогда как остальные факторы практически не оказывают влияния на инновационную деятельность. Для предприятий, находящихся в затруднительном положении, уже большее количество факторов влияет на развитие инновационной деятельности :

- недостаток собственных денежных средств (0,99);
- высокий экономический риск (0,97);
- недостаток финансовой поддержки со стороны государства (0,76).

Предприятия, не занимающиеся инновационной деятельностью, наиболее зависимы от недостатка собственных средств (0,53) и высокого экономического риска (0,89). Если говорить о зависимости разработки инновационных технологий и рассматриваемыми факторами, то, как показал анализ, чем больше недостаток собственных денежных средств и меньше поддержка со стороны государства, тем сильнее влияние, которое оказывают эти факторы на количество разработанных инноваций (т.е. обратная зависимость). Прямая зависимость наблюдается между факторами разработка передовых производственных технологий и низкий платежеспособный спрос на инновации (рис. 3).

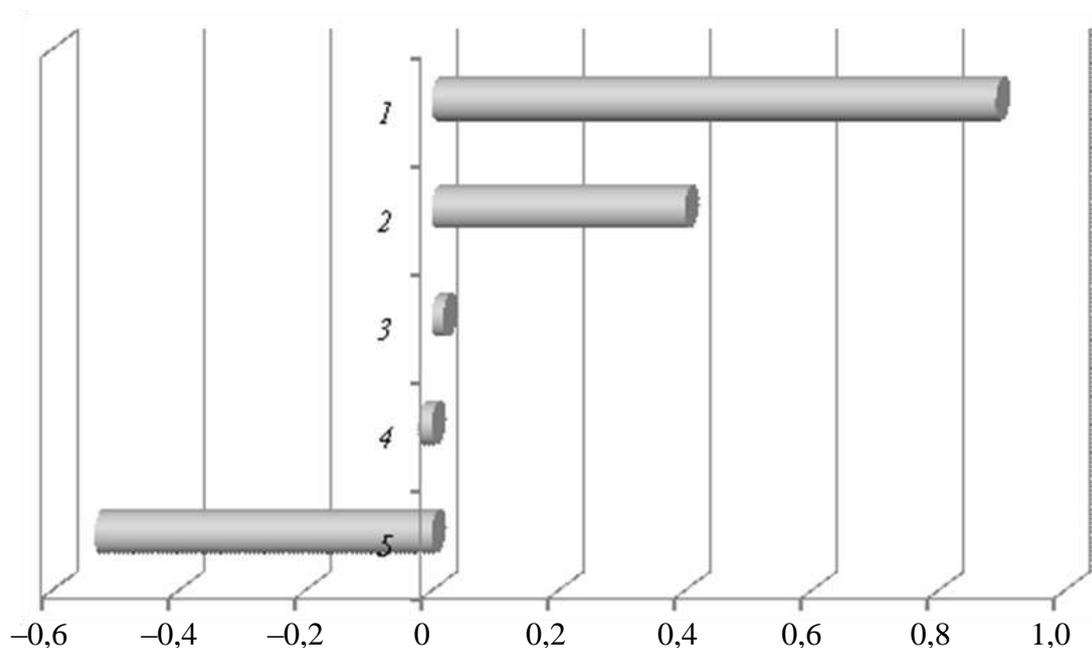


Рис. 3. Коэффициент корреляционной зависимости между экономическим факторами и количеством разработанных передовых производственных технологий (рассчитано по [1–5]) : 1 – высокий экономический риск; 2 – высокая стоимость нововведений; 3 – низкий платежеспособный спрос на новые продукты; 4 – недостаток финансовой поддержки со стороны государства; 5 – недостаток собственных денежных средств

При анализе количества использованных передовых производственных технологий низкий платежеспособный спрос уже не оказывает существенного влияния (рис. 4). При этом количество использованных технологических инноваций наиболее тесно связано с такими факторами, как недостаток собственных денежных средств (0,5-0,7), недостаточная финансовая поддержка со стороны государства (0,4-0,8). Чем затруднительнее финансовое положение предприятия, тем меньше оно внедряет новых технологий. На наш взгляд, это подтверждает необходимость разрабатывать новые подходы к инновационной деятельности и разработке механизма ее государственной поддержки.

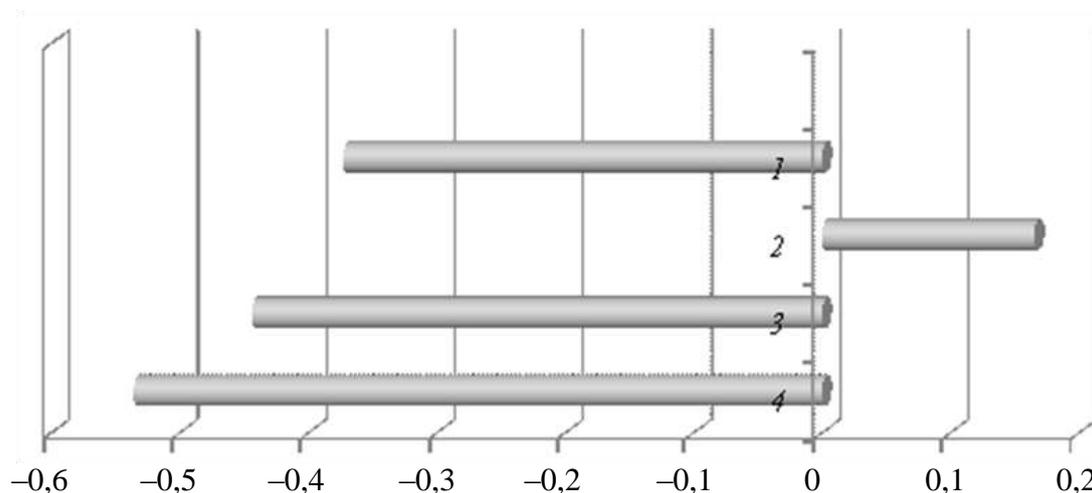


Рис. 4. Коэффициент корреляционной зависимости между экономическими факторами и количеством внедренных передовых производственных технологий (рассчитано по [1-5]) : 1 – высокая стоимость нововведений; 2 – низкий платежеспособный спрос на новые продукты; 3 – недостаток финансовой поддержки со стороны государства; 4 – недостаток собственных денежных средств

Рассмотрим влияние и связь между технологическими инновациями и производственными факторами (табл. 6).

Таблица 6

Корреляционная зависимость между производственными факторами и результатами инновационной деятельности (рассчитано по [1-5])

Влияние	Факторы				
	Низкий инновационный потенциал предприятия	Недостаток квалифицированного персонала	Недостаток информации о новых технологиях	Недостаток информации о рынках сбыта	Недостаток возможностей для кооперирования с другими предприятиями и научными организациями
<i>Количество созданных передовых производственных технологий</i>					
Незначительное или малосущественное	-0,00658	-0,08829	0,777877	0,570762	0,208269
Значительное	0,898557	-0,89745	0,041632	0,686297	-0,99422
Основное или решающее	-0,749483542	0,067506924	-0,8276971	-0,9682222	-0,521785965
<i>Количество использованных передовых производственных технологий</i>					
Незначительное или малосущественное	0,999118	0,441614	-0,69514	-0,43024	-0,11871
Значительное	0,142253	0,890249	-0,01294	-0,63965	-0,99422
Основное или решающее	-0,71932	-0,51596	-0,99634	-0,66442	-0,47655

Количество созданных передовых производственных технологий значительно взаимосвязано с такими факторами, как :

- недостаток возможностей для кооперирования с другими предприятиями (0,99);
- низкий инновационный потенциал самого предприятия (0,9);
- недостаток квалифицированных кадров (0,9);
- недостаток информации о рынках сбыта (0,96).

При этом последний фактор имеет решающее значение (0,96) для предприятий, мало занимающихся инновационной деятельностью (рис. 5).

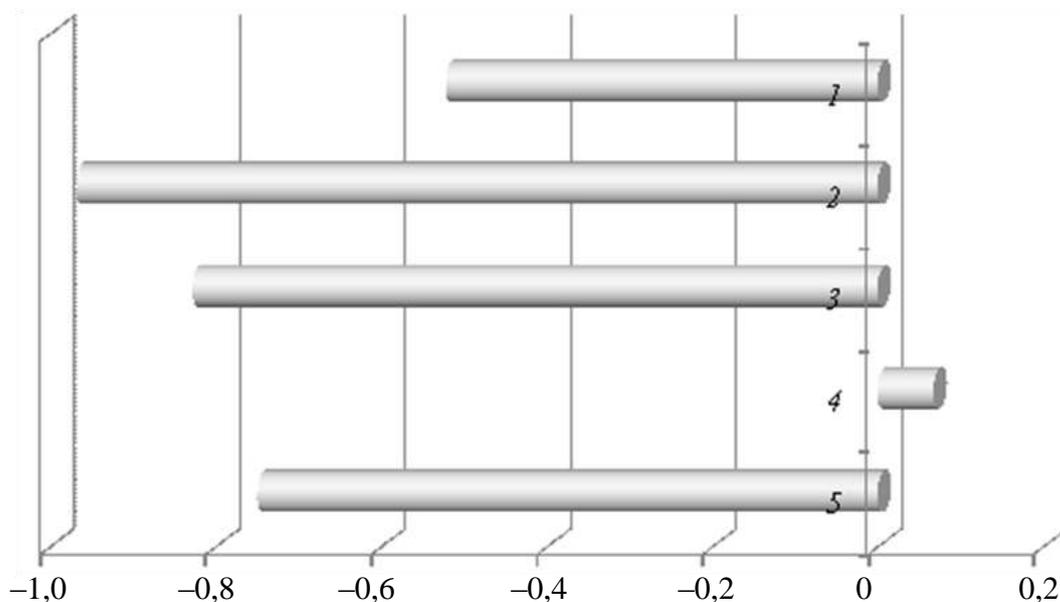


Рис. 5. Коэффициент корреляционной зависимости между производственными факторами и количеством разработанных передовых производственных технологий (рассчитано по [1–5]) : 1 – недостаток возможностей для кооперирования с другими предприятиями и научными организациями; 2 – недостаток информации о рынках сбыта; 3 – недостаток информации о новых технологиях; 4 – недостаток квалифицированного персонала; 5 – низкий инновационный потенциал предприятия

Эти же предприятия находятся в тесной зависимости от наличия информации о новых технологиях (0,83) и своего низкого инновационного потенциала (0,75).

Внедрению передовых производственных технологий препятствие оказывают также :

- недостаток информации (0,99);
- низкий инновационный потенциал предприятия (0,72);
- недостаток информации о рынках сбыта (0,66).

Значительное влияние происходит и со стороны недостаточных возможностей для кооперирования с другими предприятиями и научными организациями (0,99). Как показали расчеты (отрицательное значение показателя), чем значительнее влияние фактора, тем меньше результативность развития инновационной деятельности на предприятии (рис. 6).

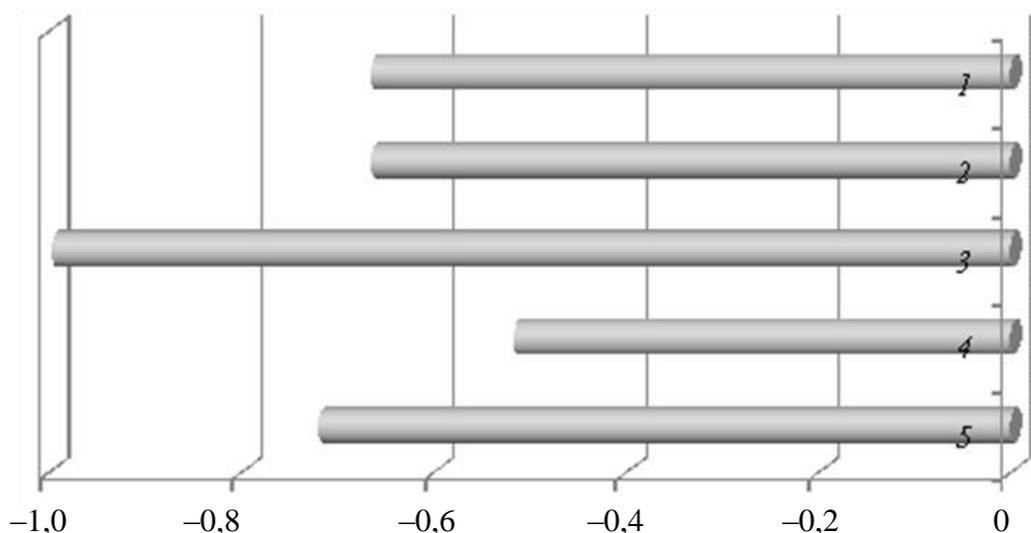


Рис. 6. Коэффициент корреляционной зависимости между производственными факторами и количеством внедренных передовых производственных технологий (рассчитано по [1–5]) : 1 – недостаток возможностей для кооперирования с другими предприятиями и научными организациями; 2 – недостаток информации о рынках сбыта; 3 – недостаток информации о новых технологиях; 4 – недостаток квалифицированного персонала; 5 – низкий инновационный потенциал предприятия

Таким образом, проведенный анализ факторов, влияющих на развитие инновационной деятельности предприятий, позволяет, на наш взгляд, сделать вывод, что внедрение кластерного подхода может способствовать развитию возможностей для кооперирования с другими предприятиями и научными организациями, повышению квалификации персонала предприятий, развитию финансирования инновационной деятельности из различных источников и разными методами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наука в Саратовской области : стат. бюллетень / Сароблкомстат. Саратов, 2004. № 111 (574)–03. 40 с.
2. Наука в Саратовской области : стат. бюллетень / Сароблкомстат. Саратов, 2003. № 128 (43)–04. 40 с.
3. Научные исследования и инновации в Саратовской области в 2005 году : стат. сб. / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Саратовской области. Саратов, 2006. 44 с.
4. Научные исследования и инновации в Саратовской области в 2006 году : стат. сб. / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Саратовской области. Саратов, 2007. 45 с.
5. Научные исследования и инновации в Саратовской области в 2009 году : стат. сб. / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Саратовской области. Саратов, 2010. 60 с.

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Т. В. Горячева

Саратовский государственный технический университет
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77
E-mail : tvsgtu@rambler.ru

В статье рассматриваются вопросы реализации промышленной политики в условиях формирования шестого технологического уклада. Особое внимание уделено нанотехнологическим производствам. Автором также разработана схема реализации инновационной программы предприятия в рамках формирования промышленной политики нанопроизводств.

Ключевые слова : нанотехнология, промышленная политика, шестой технологический уклад.

Features of Realisation of an Industrial Policy at the Enterprises Nanotechnology Manufactures

T. V. Goryacheva

In article questions of realization of an industrial policy in the conditions of formation of the sixth technological way are considered. The special attention is given nanotechnology to manufactures. The author also develops the scheme of realization of the innovative program of the enterprise within the limits of formation of an industrial policy nanotechnology.

Key words : nanotechnology, industrial policy, sixth technological way.

Выбор приоритетных направлений промышленной политики должен осуществляться в соответствии с потребностями высокотехнологичных отраслей и ориентироваться на те предприятия, которые как минимум относятся к пятому технологическому укладу, опирающемуся на инженерные решения, основанные на электронике, телекоммуникациях, оптоволоконных и лазерных устройствах и биотехнологиях. Таких предприятий в российской экономике незначительное количество, хотя за рубежом они переходят уже в шестой технологический уклад, основанный на широком применении микро- и наноэлектроники, геной инженерии, нетрадиционной энергетики и информационных сетей, следующих после интернет-поколения. По прогнозам экспертов годовой объем рынка высокотехнологической продукции и услуг вырастет за ближайшие 15 лет с 2,9 до 10–12 трлн долл. США, а объем рынка топливно-энергетических ресурсов всего лишь с 0,7 до 1,2–1,4 трлн долл. [1]. По планам российского правительства в ближайшие семь лет оборот продукции наноиндустрии в России также должен возрасти и составить около 4 трлн рублей. Наиболее активно нанотехнологии будут внедряться в электронике и производстве материалов. Медицинская и автомобильная промышленность уже сегодня готовы включить новые разработки в свои технологические цепочки. Но не могут это сделать, так как проблема

состоит в отсутствии реального продукта, готового к массовому производству. Поэтому сейчас необходимо создать все необходимые условия для развития нанотехнологий и нанотехнологических кластеров. А при формировании промышленной политики необходимо обратить внимание, прежде всего, на её высокотехнологичную часть.

Следует отметить, что эти перспективы и предложения должны быть основаны на анализе сегодняшней ситуации в экономике, а она не внушает оптимизма.

Если в 1980 году Россия – это вторая экономика мира, пять Китая и 60% от объема промышленного производства США, то сейчас это 1/5 Китая и 6% – США [2]. Кроме того, у нас очень сложная демографическая ситуация. Поэтому для того, чтобы Россия сохранилась как держава хотя бы в течение 10 лет, нам нужно точное управление и точная промышленная политика. На протяжении последних лет у нас не было ни промышленной политики, ни обоснованной и серьезной национальной экономической политики.

Постепенное увеличение производства высокотехнологической продукции потребует модернизации и технического перевооружения отраслей промышленности, и в первую очередь машиностроения. Для нанотехнологий необходима другая производственная база, другое специализированное оборудование, которое, к сожалению, не производится в нашей стране, а закупается за рубежом. У нас оно отсутствует, так как отечественное машиностроение производит технологическое оборудование для микроэлектроники, т.е. для предприятий пятого, а то и четвертого технологических укладов.

Поэтому особую актуальность на данном этапе развития экономики приобретают задачи, связанные с управлением всем инновационным процессом – от идеи и научной разработки до сервисного обслуживания готовых изделий у заказчика. В этих условиях проблема управления этапами данного процесса приобретает новое звучание. Особую значимость приобретают задачи обеспечения согласованной работы различных структурных подразделений предприятия, непосредственно участвующих в реализации его инновационных стратегий : служб исследований и разработок НИОКР, производства и маркетинга.

Все это обуславливает необходимость рассматривать промышленную и инновационную политику во взаимосвязи. Требуется совместное глубокое их реформирование. От прямой поддержки предприятий необходимо переходить к созданию системы институтов развития, которые, в свою очередь, будут способствовать обновлению действующих и созданию новых высокотехнологичных производств.

Если обратиться к опыту стран с развитой инновационной экономикой, то на протяжении последних десяти лет успешно действуют и развиваются механизмы государственной поддержки исследований и разработок в области нанотехнологий и их коммерциализации. Пионером в этой области являются Соединенные Штаты Америки, чья национальная нанотехно-

логическая инициатива 2001 года была в числе первых, открывших это актуальное на сегодняшний день направление государственной инновационной политики. Практически в это же время поддержка развития нанотехнологий утверждается среди приоритетных направлений государственной научно-технической и инновационной политики в Японии (в 2002 г. основан Японский нанотехнологический исследовательский сетевой центр) и в Евросоюзе, где в рамках Шестой рамочной программы исследований и технологического развития, инициированной в 2002 г., нанотехнологии заявлены в качестве приоритетного направления. В настоящее время большинство стран со значительным высокотехнологичным сектором экономики активно способствуют развитию и распространению нанотехнологий на своей территории [3].

Согласно источнику Nanovip International Nanotechnology Business Directory (www.nanovip.com) [3], по состоянию на ноябрь 2008 г. по всему миру зарегистрировано 1608 нанотехнологических компаний; более 850 (!) из них – это американские компании, чуть более 100 – немецкие, чуть менее 100 – английские и т.д. Несмотря на то что эти данные вызывают справедливую критику [1], безоговорочное лидерство США по данному показателю сомнений не вызывает. На лидерство США в области нанотехнологий также указывают результаты обследования Project on Emerging Nanotechnologies (www.nanotechproject.org), проведенного недавно американским Международным исследовательским центром Вудро Вильсона : на август 2008 г. было выявлено 803 продукта, изготовленного с использованием нанотехнологий, из которых 426 производились американскими компаниями, 227 – в Восточной Азии, 108 – в Европе. Такая разница в позициях стран и регионов в конкурентной борьбе за первенство в разработке и внедрении нанотехнологий в значительной степени обуславливает общие принципы и конкретные механизмы политики в области нанотехнологий.

В зависимости от особенностей системы государственного управления в той или иной стране поддержка развития нанотехнологий может осуществляться как на государственном, так и на региональном уровнях.

Одной из последних тенденций развития современной экономики по инновационному типу является создание промышленных кластеров, где крупная компания становится ядром, к которому, как атомы в молекуле, присоединяются мелкие и средние компании. Это способствует развитию частногосударственного партнерства в целях создания промышленной инфраструктуры, в том числе особых экономических зон технико-внедренческого типа и технопарков в сфере высоких технологий.

Но далеко не все предприятия могут реализовать такие подходы. Статистика такова, что по уровню обеспеченности изобретениями, защищенными патентами, Россия в целом занимает совсем не лидирующие позиции в мире, пропустив, помимо развитых стран, Китай и Индию. Доля нашей страны в продаже наукоемкой продукции на мировом рынке составляет всего 0,3%.

Резко снизилось количество подаваемых заявок на получение патента на изобретения. Если в советское время ежегодно подавали до 200 тысяч

заявок, то сейчас их число не превышает 16 тыс. (для сравнения, в Японии в год подается почти 360 тыс. заявок) [4]. Такому положению способствовал целый ряд причин, в том числе :

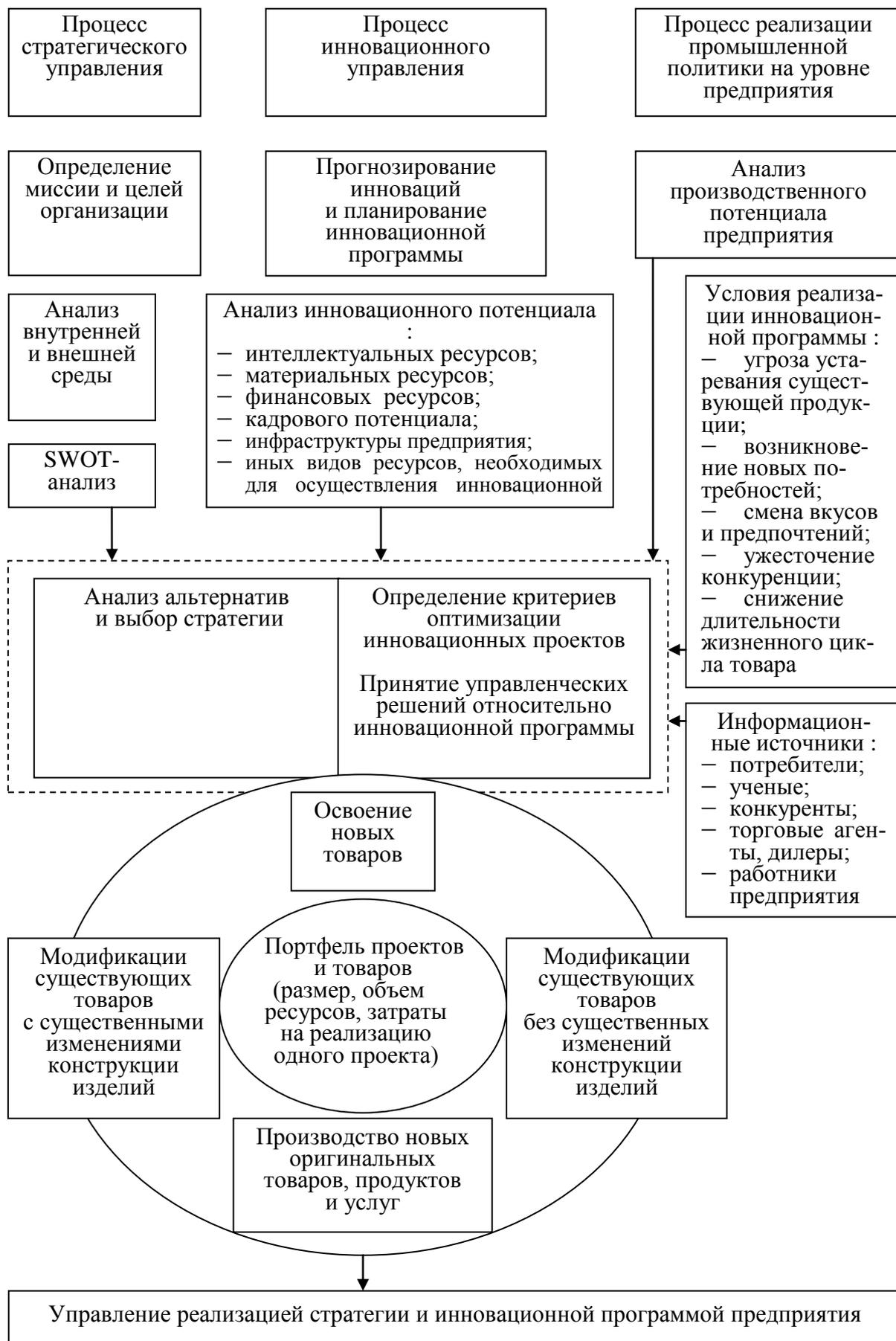
- нестабильная экономическая ситуация и резкий спад производства;
- возросшие требования к отбору изобретений;
- необходимость оплаты всех операций, связанных с регистрацией объектов интеллектуальной собственности и поддержанием патента (свидетельства) в силе, в то время как авторские свидетельства выдавались бесплатно и т.д.

Переход на инновационный путь развития потребует существенных изменений как в механизме, так и в структуре промышленного роста экономики страны. Естественно, основным источником промышленного роста должны стать инновации и в целом развитие научно-технического прогресса : до 2020 года доля промышленных предприятий, осуществляющих технологические инновации, должна возрасти до 40–50%, доля инновационной продукции в выпуске промышленной продукции – до 25–35%, доля высокотехнологичного сектора и экономики знаний в ВВП должна составлять не менее 17–20%. Значительные изменения должна претерпеть и отраслевая структура экономики России, например, доля высокотехнологичного сектора в добавленной стоимости должна увеличиться в 2 раза – с 10 почти до 20%. Это приведет к сокращению нефтегазосырьевого сектора, а также уменьшению доли торговли с 17,7 до 12,2% [5].

Новая технологическая волна на основе нано- и биотехнологий и динамичный рост мирового рынка высокотехнологичных товаров и услуг открывают перед Россией и новые возможности для технологического прорыва, и создают новые вызовы... Российский экспорт этой продукции должен расти на 15–20% в год и выйти на рубеже 2020 года на уровень не ниже 80–100 млрд долларов США (около 1% мирового рынка по сравнению с 0,2% в настоящее время) [3].

В связи с этим хотелось бы более подробно остановиться на самом низшем структурном подразделении экономики России – предприятии, так как именно там должен обеспечиваться тот промышленный рост, о котором говорится в Концепции развития.

В большинстве своем отечественные предприятия должны стать инновационными, а для инновационного бизнеса основу должна составлять идея, воплощенная в стратегии развития предприятия, а если более конкретно, то в его инновационной программе. Правильный подход к формированию инновационной программы, фактически, является залогом будущего успеха деятельности предприятия или, наоборот, его неудачи. Постоянный поиск новых идей является «двигателем» инновационного бизнеса и в достаточно высокой степени научно-технического прогресса в целом. Инновационная программа должна определять реально существующие возможности производства оригинальных товаров, продуктов, услуг или же их улучшенных вариантов (модификаций). На наш взгляд, механизм реализации инновационной программы предприятия должен иметь вид, представленный на рисунке.



Механизм формирования инновационной программы предприятия

Основным информационным источником для формирования инновационной программы предприятия должны стать :

- потребители (с точки зрения изучения потребительского спроса);
 - ученые (в том случае, если они занимаются изобретением или поиском новых материалов, товарных свойств, которые могут привести к созданию новой продукции или услуг);
 - конкуренты (в части своей стратегии и деятельности, связанной с изучением потребительского спроса);
 - торговые агенты, дилеры и прочие посредники;
- непосредственно работники предприятия (при этом в процесс зарождения инновационных идей вовлекается как можно большее число сотрудников).

Видно, что источники весьма разнообразны, но подход к формированию программы, наполнение ее конкретными элементами остаются всегда за руководством. Как показывает практика, отсутствие финансовых средств на разработку инновационных продуктов является одним из наиболее серьезных препятствий для большинства предприятий, стремящихся работать в инновационной сфере. Кроме этого, существуют и другие проблемы в данной сфере : нарастание темпов отставания от мирового уровня научно-технического прогресса по широкому спектру качественных параметров развития техники; резкое сокращение численности научно-исследовательских групп, коллективов, школ и институтов; отсутствие гибкости в работе существующих материально-технических, производственно-экономических и социально-организационных структур; чрезмерная длительность инновационных процессов во времени; ограниченность распространения инноваций (внедрение на одном-двух предприятиях); чрезвычайно низкий удельный вес радикальных инноваций в общем объеме; отсутствие заинтересованности в инновациях (в силу функциональной ориентации предприятий); практически полное прекращение инвестиционного финансирования программ технического перевооружения и модернизации производства за последние 10 лет; развал отраслевой академической и вузовской науки; отсутствие разумной промышленной и научно-технической политики, что поставило во главу угла проблему фактической выживаемости наукоемкого сектора.

Инновационное предпринимательство – всегда риск. Поэтому целесообразнее, если руководство предприятия будет формировать программу на основе создания «портфеля» проектов, товаров, чтобы поддерживать конкурентоспособность своего предприятия и быть в состоянии быстро и гибко переориентировать свой бизнес в соответствии с меняющимися внешними условиями, актуальными научно-техническими разработками и требованиями потребителей.

Портфель разработок должен состоять из разнообразных крупных и мелких проектов, близких к завершению и начинающихся. Портфель дол-

жен иметь определенные контуры, быть стабильным, чтобы рабочая программа могла осуществляться равномерно.

Количество проектов, находящихся в портфеле, зависит от их размеров, которые измеряются общим объемом ресурсов, необходимых для их разработки, и затратами на реализацию одного проекта.

В современных условиях успешному научно-техническому развитию способствует также интеграция предприятий в финансово-промышленные группы, холдинговые структуры и т.п., где связи строятся по горизонтальному, вертикальному, смешанному и диверсификационному типам. Такие группы, как правило, включают следующие специализированные инновационные структуры : научно-исследовательские технологические центры, лаборатории и т.д. Финансово-промышленные группы, осуществляющие лидирующую стратегию, имеют в своем составе и венчурные структуры.

Поиск принципиально новых подходов в сочетании с требованиями быстрого и гибкого внедрения результатов в производство, доведение их до рынка определяют успех развития отечественных предприятий на современном этапе.

Мировой опыт свидетельствует, что альтернативы инновационному пути развития нет. Создание, внедрение и широкое распространение новых продуктов, услуг, технологических процессов становятся ключевыми факторами роста объемов производства, занятости, инвестиций, внешнеторгового оборота, улучшения качества продукции, экономии трудовых и материальных затрат, совершенствования организации производства и повышения его эффективности. Все это предопределяет конкурентоспособность предприятий и выпускаемой ими продукции на внутреннем и мировом рынках, улучшает социально-экономическую ситуацию в стране.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Промышленная политика. Создание экономики инновационного типа : Стратегия партии «Единая Россия» на VII съезде. URL : <http://www.edinros.ru> (дата обращения : 05.03.2011).
2. Рудницкий Л. Россия осталась без промышленности // Бизнес и финансы. URL : <http://fintimes.km.ru/ekonomika-rossii/promyshlennost/11610> (дата обращения : 16.04.2011).
3. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации. URL : http://www.intelros.ru/subject/ross_rasput/2026-konceptcija-dolgosrochnogo-socialno.html (дата обращения : 20.05.2011).
4. Palmberg Ch., Dernis H., Miguet Cl. Nanotechnology : an overview based on indicators and statistics (The document of OECD Working party on nanotechnology) // STI working paper. 2009. № 7. С. 56.
5. Бендииков М. А., Хрусталёв Е. Ю. Интеллектуальная собственность в России : проблемы использования и правовой защиты // Менеджмент в России и за рубежом. 2001. № 3. С. 3–7.

СОСТАВЛЯЮЩИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АУТСОРСИНГА

Е. В. Олейникова

Саратовский государственный технический университет
Россия, 410054, Политехническая, 77
E-mail : elenaol2005@mail.ru

Рассматриваются подходы к развитию сервисного ремонта на основе его современной формы – аутсорсинга и особенности его влияния на формирование качества продукции каждого из предприятий.

Ключевые слова : показатели качества и стоимости оборудования как товара, сервисные услуги, аутсорсинг, конкурентоспособность продукции.

The Elements at Production Competitiveness Formation of Outsourcing

E. V. Oleynikova

The article studies the approaches creation and development of the sphere of equipment service at industrial enterprises on the base of its modern forms – outsourcing and his influents on economics firms.

Key words : quality cost of the equipment, service, outsourcing, production competitiveness.

Сущность аутсорсинга, базирующаяся на таких процессах, как фокусирование внимания на нуждах и проблемах потребителей, постоянный учет и анализ всей текущей информации о состоянии оборудования позволяет рассматривать его не только как способ привлечения внимания потребителя оборудования к конкретному производителю, но и как способ максимизации ценности оборудования для данного потребителя. Ценность можно рассматривать как нечто особенное, чем владеет или стремится владеть производитель или потребитель оборудования для создания своего превосходства перед конкурентами.

Ценность оборудования для предприятия-потребителя определяется двумя составляющими – реальной и ожидаемой стоимостью оборудования. Реальная стоимость – наличие техники с реализованными показателями качества, соответствующими требованиям производства. Ожидаемая стоимость оборудования исходит из наличия в изделии групп показателей (показатели назначения, надежности, технологичности, стандартизации и унификации, транспортабельности, безопасности, экологические и т.д.) с соответствующими параметрами, формирующими внутреннее обеспечение качества изделий товаропроизводителем, и отражает степень удовлетворенности потребителя в данной продукции. Для потребителя ожидаемая стоимость оборудования определяет ценность, т.е. правильно сделанное с точки зрения потребителя изделие, и включает его реальную стоимость и предполагаемые им затраты на приобретение и последующую эксплуатацию в виде стоимости эксплуатационных затрат и затрат на воз-

возможные ремонты. В этом случае ожидаемая стоимость отражает привлекательность оборудования для потребителя. Разница в оценке ценности и стоимости оборудования производителем и его потребителем всегда существует. Задача производителя – сделать эту величину минимальной и, следовательно, увеличить привлекательность своей продукции для потребителя.

Форма проявления ценности любого изделия как внутри, так и вне какой-то системы индивидуальна, но в любом случае она характеризует его достоинства. Для производителя ценность оборудования проявляется в наличии новшеств, способных обеспечить конкурентные преимущества продукции и создать имидж фирмы. Для потребителя эта ценность проявляется в его удовлетворенности данной продукцией при её использовании. Степень удовлетворенности потребителя (П) данной продукцией может быть различной, но в любом случае она определяется соотношением ценности (Ц) оборудования и его стоимости (С) :

$$П = Ц / С.$$

Наиболее предпочтительна ситуация для потребителя, когда большая ценность продукта достигается за счет меньшей его стоимости, т.е. когда $Ц > С$, тогда $П > 1$. В то же время производитель заинтересован в получении большей прибыли за счет увеличения ценности своей продукции для потребителя, поэтому производитель ищет дополнительные возможности, способствующие, с одной стороны, снизить стоимость производства своей продукции, а с другой – еще больше увеличить ценность своей продукции для потребителя. Возможность увеличения ценности продукции ведет к увеличению цены на нее и к привлечению в этот сектор конкурентов. Выживание в этой ситуации возможно за счет инноваций, в том числе на основе реализации предложений и требований своих постоянных потребителей.

Возможна нейтральная ситуация, когда $П = 1$, если значения Ц и С, установленные производителем, совпадут с ожидаемыми значениями потребителя. В этом случае ожидания потребителя подтвердятся, а производитель окупит свои затраты и получит запланированную прибыль в соответствии с реализованными параметрами качества. Однако долгое время такая ситуация существовать не может, так как каждая из сторон будет стремиться к большей выгоде для себя.

В ситуации $Ц < С$ и $П < 1$ потребитель не удовлетворен, и в большинстве случаев покупка товара не совершается. Производитель начинает терять ранее приобретенных потребителей. Развитие производства с таким соотношением Ц и С неэффективно и бесперспективно.

Рассмотренные ситуации с удовлетворенностью потребителя по-своему влияют на отношение производителя к ценности и стоимости продукта и определяют характер его поведения в различные периоды конкурентной борьбы. Выбор стратегии деятельности предприятия по выпуску конкурентоспособной продукции можно проследить по матрице «стоимость–качество» (рис. 1).

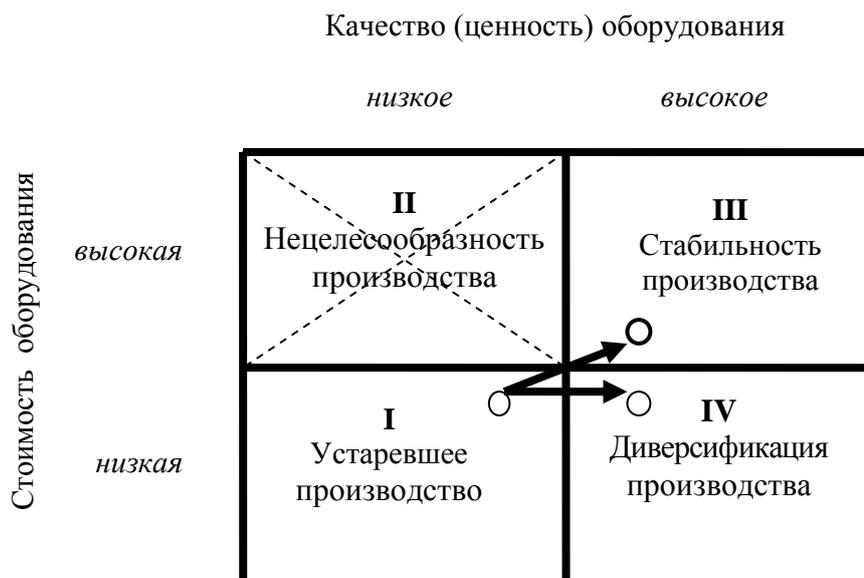


Рис. 1. Влияние качества и стоимости оборудования на возможности развития современного производства

Обеспечить удовлетворение потребности потребителя, т.е. достижение $\Pi = 1$ или $\Pi > 1$, можно разными способами. Достижение первого результата считается реальным в том случае, если ценность и стоимость оборудования одновременно снижаются или увеличиваются, а достижение второго – желательно для производителя и потребителя всегда.

Рассмотрим эти ситуации. На практике ситуация, когда имеются низкое качество и низкая стоимость продукта (см. рис. 1, поле I), вероятна только при отсутствии конкуренции. Она характерна для периода с распределительной системой производства и потребления, когда длительное время фиксируются неизменные цены и качество, или для условий развивающегося или ненасыщенного рынка. Обеспечить растущие потребности предприятий-потребителей оборудования при низком его качестве проблематично, так как использование данного оборудования ведет к существенным затратам на этапе его эксплуатации. Такое производство в настоящее время является устаревшим. Тем более трудно на таком оборудовании выпускать конкурентоспособную продукцию. Выходом из такой ситуации являются переход на выпуск качественных моделей оборудования, скорейшая смена моделей продукции или полный уход с рынка.

Обеспечить удовлетворение потребителя продукцией низкого качества при ее сравнительно высокой стоимости невозможно. В условиях конкуренции такая техническая политика нецелесообразна (см. рис. 1, поле II), так как обеспечивает производителю неэффективное производство и обрекает его на провал.

Ситуация, когда растут ценность и стоимость продукции, более традиционная. По мере насыщения рынка и совершенствования функций и технических характеристик продукции потребитель становится разборчивее и готов заплатить большую стоимость за более ценный продукт.

Если производитель оборудования традиционно имеет свою нишу на рынке, это значит, что он формирует её за счет :

- применения новейших технологий и более качественного сырья;
- сужения специализации производства с одновременным расширением ассортимента специализированного продукта.

Одновременно производитель стремится удержать нишу, следовательно, он стремится постоянно повышать ценность своей продукции как за счет традиционных средств (повышение качества изделий), так и за счет специфических действий, например, в виде предоставления потребителю различных услуг предпродажного и послепродажного обслуживания, тем самым производитель ищет современные формы предоставления услуг. Введение новых технологий и совершенствование моделей оборудования, хотя и влекут дополнительные инвестиции, стимулируются повышением требований потребителя, который готов платить больше за более высокое качество продукта. Такое положение по удовлетворению требований потребителя при одновременном повышении ценности и стоимости продукции ведет к стабильности производства (см. рис. 1, поле III) и может обеспечить долговременную прибыль каждому из предприятий – производителю и потребителю такого оборудования. Это возможно за счет предложения фирменного обслуживания, консультирования фактических потребителей оборудования или поставки оборудования с гарантийным обслуживанием. Для производителей станков это означает возможность расширения видов гарантийных услуг, повышение внимания к потребителям, входящим в систему фирменного обслуживания. Увеличение цены на продукцию способствует тому, что появляются другие фирмы, в том числе и вновь создаваемые, которые будут пытаться занять традиционную нишу конкурента. Это заставляет предприятия искать новые формы конкурентной борьбы, способствующие развитию производства и продукции.

Наступает ситуация, когда производство оборудования по минимальной цене уже не является единственной целью производителя, соответственно ценовая конкуренция перестает быть единственной формой конкурентной борьбы. Качество продукта является конечной целью любого производителя и это определяет его ценность в глазах потребителя. Оценка конкурентоспособности производится не только по техническим и ценовым характеристикам, но и по другим группам. Конкурентная борьба, если она имеет место, ведется на основе повышения ценности своего продукта для потребителя при одновременном снижении его стоимости. Ценовая конкуренция является лишь одним из средств в арсенале производителя для сохранения деловой репутации. «Конкуренция по-новому, как назвал её известный американский экономист Т. Левитт, – это не конкуренция между собой того, что произведено фирмами на своих заводах и фабриках, а того, чем они дополнительно снабдили свою продукцию в виде упаковки, услуг, консультаций клиентов, рекламы... и прочих ценных вещей» [1, с. 90].

Повышение конкурентоспособности оборудования через развитие и совершенствование рынка сервисных ремонтных услуг объективно, так как создается возможность предоставлять только те услуги, которые соответствуют требованиям потребителей оборудования. Решив проблему качественного технического сервиса, можно решить и проблему количества единиц техники опре-

деленной группы на предприятии, что напрямую связано с объемом выпускаемой продукции и соответствует задаче удовлетворения общественных потребностей. Наличие сервиса и его качество являются существенными по значимости показателями формирования конкурентоспособности изделия. На практике это означает, что сначала следует повышать качество оборудования, затем снижать его цену (прежде всего, на единицу полезного эффекта), эксплуатационные затраты и повышать качество сервисного обслуживания потребителей. Именно в этой нише ведутся поиск и использование методов конкурентной борьбы за своего потребителя и создается конкурентоспособная продукция. Прочное конкурентное преимущество возможно за счет достижения низких издержек производства и высокого качества продукции. Низкие издержки производства отражают способность фирмы выпускать и продавать сравнимую продукцию с меньшими затратами, чем у конкурентов. Высокое качество оборудования отражает способность его изготовителей обеспечить покупателя уникальной и большей ценностью своего изделия в виде нового его качества или особых, наиболее ценимых потребительских свойств или послепродажного обслуживания. Трудно, но все-таки возможно получить конкурентное преимущество на стыке этих составляющих оборудования. Это достижимо при сфокусированной на определенные виды деятельности дифференциации производства. Поле IV (см. рис 1) представляет диверсификацию производства, предусматривающую наравне с дифференциацией, модификацией видов оборудования и производством узлов и деталей для нужд капитального ремонта развитие сферы ремонтных услуг на основе аутсорсинга.

Повышение качества и конкурентоспособности своей продукции одинаково важно как для изготовителей оборудования, так и для его потребителей, следовательно, обеспечение качества обслуживания можно рассматривать как важную составную часть организации производственной деятельности предприятий. Для изготовителей оборудования ремонтный сервис должен стать частью маркетинговой политики, а разработка механизма оказания сервисных процедур ремонтного обслуживания должна осуществляться через специализированные функциональные подсистемы или службы при продаже оборудования. Всё это будет способствовать проведению ремонта и обслуживания с различными дополнительными видами услуг, диктуемыми современным подходом к изучению проблем рынка и эксплуатации техники. Одновременно это создаст основу формирования конкурентной среды услуг как специфического вида конкуренции, суть которой сводится к тому, что производитель оборудования конкурирует сам с собой, предлагая товар с дополнениями, имеющими определенный практический интерес для потребителя : консультации, гарантии, условия оплаты, режим обслуживания и другие. В конечном итоге формируется направление развития сети услуг у предприятия-производителя оборудования, позволяет приобрести новых и постоянных покупателей и клиентов и одновременно создает базу конкурентоспособности его продукции.

Появление нового сегмента рынка услуг даёт возможность выйти не только на новую группу покупателей, но и найти более эффективный способ реализации функций моделей оборудования или новые подходы к определен-

ной группе потребителей оборудования. Одновременно аутсорсинг позволяет контролировать запросы потребителей, влиять на прибыль и уменьшать риски, способствовать выпуску новых моделей оборудования на рынок. Обращение к аутсорсингу можно рассматривать как новый способ контроля качества продукции в период её эксплуатации. Функционируя в определенной социально-экономической среде, каждое предприятие, с одной стороны, имеет определенный подход к процессу формирования качества, с другой – ищет свой путь создания качественной и конкурентоспособной продукции, который складывается под влиянием конкуренции, конъюнктуры рынка, изменений в сфере потребления, экологических требований, государственного регулирования и т.д.

По мере расширения промышленного производства продукция становится все более сложной, соответственно число контролируемых характеристик и требований к ним постоянно растет. Для производственного оборудования это означает, что в проверке нуждается не только изделие в целом, но и его отдельные функциональные характеристики. Постепенно складывается система контроля качества, требующая учета качества выполнения заданных функций по всему жизненному циклу оборудования. Чтобы быть конкурентоспособными, предприятия, занятые производством оборудования, должны иметь свои внутренние и внешние конкурентные преимущества : внутренние – у производителя, внешние – у потребителя своих изделий. К внутренним конкурентным преимуществам можно отнести высокий кадровый потенциал разработчиков, опирающихся на конструктивные радикальные новшества и прогрессивную систему автоматизированного проектирования, современное оборудование, способное использовать передовые технологии, и т.д. К внешним конкурентным преимуществам следует отнести развитую систему маркетинговой деятельности и фирменного послепродажного обслуживания потребителей.

Качество выполнения заданных функций и наличие системы послепродажного обслуживания ведут к удовлетворению определенной потребности потребителя, но не всегда формируют конкурентоспособность оборудования как изделия. Поэтому при определении конкурентоспособности оборудования надо учитывать, что :

- во-первых, конкурентоспособность любого изделия может быть определена только в результате сравнения с другими изделиями, следовательно, является относительным показателем;

- во-вторых, по своей сути показатель конкурентоспособности отражает отличие данного изделия от изделия-конкурента по степени удовлетворения конкретной потребности. Для производственного оборудования в качестве отличий может выступать характеристика надежности как обобщающий показатель качества его проектирования и изготовления. Какими бы высокими ни были все другие показатели изделия, без достаточной надежности они теряют своё значение, если не используются в полной мере. Сравнение двух и более изделий по характеристике надежности ведет к оценке качества созданных моделей и позволяет определить их уровень конкурентоспособности;

- в-третьих, для определения уровня конкурентоспособности конкретной модели оборудования необходимо не просто сравнивать её с другими по

степени их соответствия конкретной потребности, но и учитывать затраты потребителя на достижение заданного показателя. К показателям надежности работы оборудования это имеет непосредственное отношение, так как напрямую связано с количеством ремонтов оборудования в период его эксплуатации и затрат на их проведение.

Машиносервис на предприятии следует рассматривать как систему производственного научно-технического обслуживания, обеспечивающую управление надежностью функционирования оборудования и создающую условия эффективности основного производства. При аутсорсинге постоянный акцент на нужды потребителей позволяет систематизировать их пожелания и требования на базе системы развертывания функций качества. Разработка качественной системы обслуживания оборудования должна строиться с учетом профиля качества, модель которого включает три составляющие – базовое, требуемое и желаемое (проектное) качество продукта. При этом аутсорсинг контролирует и поддерживает базовое качество работы оборудования, обеспечивает достижение требуемого качества, участвует в формировании желаемого качества.

Базовое или основное качество – это совокупность функций и значений параметров работы оборудования, наличие которых предприятие-потребитель считает обязательным и о которых оно, как правило, не заявляет. Базовое качество составляет обязательную базу качественных характеристик оборудования и формирует товар по замыслу и представляет этим самым товар в реальном исполнении (рис. 2).

При отсутствии даже некоторых составляющих или гарантий этого перечня составляющих качества производитель может повлечь негативную реакцию потребителей. В такой ситуации производитель рискует своим имиджем и своей маркой, если он не уделяет каждой составляющей базового качества должного внимания. При аутсорсинге сервисная служба контролирует и поддерживает базовое качество работы оборудования благодаря наличию послепродажного обслуживания и культуре обслуживания как неотъемлемой составляющей любого сервиса.

Требуемое качество достигается, если одновременно с базовым качеством выполняются сопутствующие услуги предпродажного и послепродажного обслуживания. Здесь действия аутсорсера направлены на обеспечение заданных характеристик работы оборудования с учётом особенностей производства клиента (заказчика). Возможность их получения напрямую характеризует результативность применения сервисных технологий в глазах потребителя. Именно этот набор функций обычно рекламируется производителем и гарантируется службой сервиса. Постоянное внимание и контроль со стороны сервисной службы через механизм аутсорсинга способствуют тому, чтобы совершенствовался процесс достижения требуемых значений. Достижение требуемого качества обслуживания является результатом процесса взаимодействия сервисной службы с клиентом. Неожиданные ценности предлагаемых изделий представляют собой для потребителя желаемое качество, о наличии которого не предполагалось, но именно оно увеличивает ценность оборудования в эксплуатации.

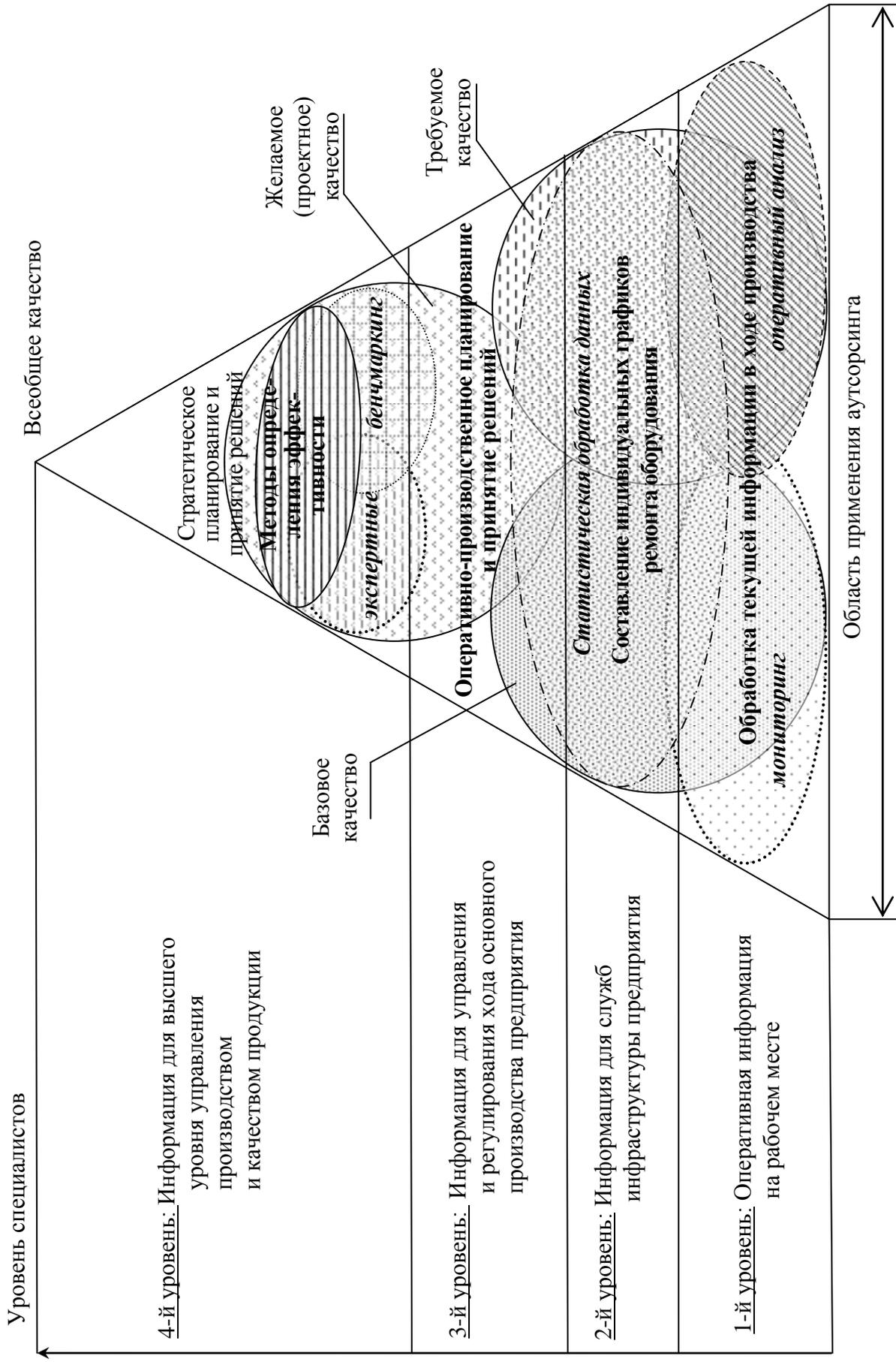


Рис.2. Интеграция и методы исследования информации по уровням управления в условиях аутсорсинга

Предложение клиенту изделий с желаемым качеством часто является результатом хорошо продуманной кампании продвижения изделий на рынок и глубокого знания производителем проблем своего конечного потребителя и означает, что сервисная служба должна ставить перед собой задачу постоянно «отслеживать» качество работы у потребителей выпускаемого изготовителем оборудования. Для этого в ее функции должны входить исследование работы оборудования в условиях эксплуатации, сбор данных о характере отказов, диагностика причин возникновения и их устранение путем изменения условий эксплуатации. Существование среды функционирования рынка ремонтных услуг невозможно без соответствующего материально-технического уровня оснащения сервисной службы, базирующегося на интеграции компьютерной техники и средств коммуникации, что предполагает развитие инженеринговых услуг, высокий уровень компетентности и профессионализма сотрудников сервисных подразделений. Работа с инженеринговой направленностью означает определенную исследовательскую работу в области эксплуатационной надежности контролируемых ими изделий, разработку рекомендаций по развитию фирменного обслуживания оборудования, системы долгосрочного проката (лизинга) видов оборудования с обеспечением его полным техническим обслуживанием со стороны предприятия-изготовителя или фирмы сервисного обслуживания.

Разработчики оборудования должны быть хорошо информированы о потребительском спросе, планировать под конкретных покупателей потребительские свойства своих изделий и устанавливать для себя при разработке моделей следующие ориентиры :

- знание рыночного спроса и объема реализации оборудования;
- определение потребности в ремонтном обслуживании;
- полное владение информацией относительно запросов, требований покупателя и клиентов;
- динамичный учет обратной связи на основе постоянного контакта и анализа качества работы оборудования у своих потребителей;
- разработка перспективных моделей с учетом потребностей рынка и расширение рынка сервисных услуг.

Действительная способность удовлетворять конкретную потребность выражается через полезный эффект, который можно рассматривать как реальную отдачу оборудования в период эксплуатации. Потенциально размер полезного эффекта с каждой единицы оборудования во многом определяется конструктивно-технологическими его возможностями, закладываемыми в процессе создания. Поскольку оборудование обладает свойством износа, величина полезного эффекта постоянно снижается, что ведет к недоиспользованию возможностей оборудования. Фактически величина полезного эффекта будет напрямую зависеть от времени использования оборудования и косвенно от организации работ по его обслуживанию на стадии эксплуатации и качества

ремонтных работ и обслуживания оборудования. Передача функций ремонтного обслуживания аутсорсеру создаёт определенную систему контроля качества работы оборудования и влияет на время его пребывания в работоспособном состоянии. Через аутсорсинг ремонта предприятие-изготовитель оборудования осуществляет авторский надзор своей продукции на местах. Организация аутсорсинга должна предусмотреть использование опыта, накопленного в процессе ремонтного обслуживания, и возможность внесения изменений в содержание ремонтных работ и их периодичность на основе проведения текущего контроля состояния оборудования. Регулирование под контролем сервисной службы показателя эксплуатационной надежности должно быть направлено на изменение графиков проведения ремонтных работ за счет сервисных технологий ремонтного обслуживания. Это ведет к сокращению времени пребывания оборудования в ремонте и росту времени эффективной работы, обеспечивает высокое «внешнее» качество, способствует увеличению полезного эффекта. Привлечение специалистов к отладке и регулированию механизмов помогает более полному проявлению показателей, заложенных на предыдущих стадиях жизненного цикла изделия. Такой подход несколько отличается от общепринятой формы организации ремонтных работ, поскольку значительное место при обеспечении качества работы оборудования отводится исследованию характеристик его работы, совершенствованию конструкции будущих изделий. Наличие прямой и обратной связи с производителем оборудования позволяет выявить существующие конструкторские недоработки в действующих моделях оборудования и ликвидировать их в будущих разработках, тем самым сократить низкий уровень «внутреннего» качества изделий. Тесная связь сервисных центров с производством помогает решению текущих задач производства и способствует проработке конструкторских идей, а затем и их внедрению.

Нельзя отрицать тот факт, что представление идей и разработка новшеств должны исходить в первую очередь от научно-исследовательского, конструкторского, технологического и производственного подразделений предприятия-изготовителя оборудования. Однако определяющим с точки зрения комплексного обеспечения качества является анализ работы действующего оборудования на местах. С этой целью наряду с обслуживанием важным является выявление дефектов в действующих моделях оборудования. Данные, относящиеся к конструктивно-технологическим характеристикам, должны собираться, анализироваться и доводиться до сведения конкретных служб изготовителя в соответствии с установленными процедурами.

Постоянный контроль качества, анализ и учет всей текущей информации о состоянии оборудования, снижение потерь и затрат потребителя на эксплуатацию оборудования позволяют рассматривать эти действия как способ максимизации ценности оборудования для потребителя. Одновременно правильная интерпретация полученных данных о состоянии оборудования способствует реализации одного из главных принципов концепции всеобщего управления

качеством *TQM* (*Total Quality Management*) – «делать правильные вещи – правильно». Акцент на потребителя и повышение качества объективно отражают возможности использования аутсорсинга как комплекса мер по формированию конкурентоспособности оборудования (рис. 3).



Рис. 3. Инструменты аутсорсинга по формированию конкурентоспособности оборудования

Содержание функций аутсорсинга и уровень организации работы по обеспечению качества и конкурентоспособности изделий следует рассматривать как необходимые составляющие конкурентоспособности товара. В представлениях классической экономики оборудование следует рассматривать как результат производственной деятельности предприятия-изготовителя, где оно выступает в качестве товара, выставляемого на продажу. Одновременно конкуренция позволяет воспринимать товар не как предложение, а скорее как субъективный способ восприятия его покупателем в совокупности с различными дополнениями, обеспечивающими этому покупателю удовлетворение нужд потребления и пожеланий. Такими дополнительными составляющими для оборудования как товара выступают сопутствующие услуги в виде предпродажного и послепродажного обслуживания (рис. 4).



Рис. 4. Элементы конкурентоспособности оборудования в системе уровней существования товара

Характер этих услуг определяется физическими свойствами оборудования как товара и его сложностью. Основываясь на предложенной Ф. Котлером трехуровневой схеме существования товара – «товар по замыслу», «товар в реальном исполнении», «товар с подкреплением» [2] – и необходимости использования услуг предпродажного и послепродажного характера для обеспечения его эффективного использования в период эксплуатации, можно рассматривать оборудование как товар, которому присущи сразу все уровни существования.

При этом, исходя из эволюции самого изделия и развития элементов рынка, состав элементов каждого уровня определения товара может меняться. Одновременно каждый элемент любого уровня является составной частью формирования конкурентоспособности оборудования.

Установление взаимовыгодных отношений с клиентами по предоставлению услуг предпродажного и послепродажного характера является основой повышения конкурентоспособности фирм-производителей.

Традиционно предпродажное обслуживание связано с подготовкой оборудования к представлению потенциальному или реальному потребителю.

Различные виды услуг на этом этапе способствуют максимальному облегчению сбыта продукции и подготовке покупателя к наиболее эффективной и безопасной эксплуатации приобретаемой техники. Сервис предполагает, чтобы вся техническая документация была напечатана на языке страны-покупателя данного изделия. Техническое консультирование возможно как на этапе предпродажного, так и послепродажного обслуживания. Консультирование покупателей перед приобретением ими данного изделия позволяет им сделать осознанный выбор. Предпродажное обслуживание при аутсорсинге рассматривается не как демонстрация возможностей оборудования в период непосредственной подготовки его к эксплуатации, а как период информирования клиентов о целесообразности данных услуг.

Аутсорсинг охватывает систему действий и решений, связанных с отказом потребителя от собственного участия в обслуживании и ремонте оборудования, и основан на заключении договора потребителя с сервисной службой на выполнение всех функций по обслуживанию и ремонту. Такой договор гарантирует клиенту возможность концентрироваться на своих основных обязанностях. Фирма-аутсорсер берет на себя все функции по продлению жизненного цикла оборудования, его эффективной эксплуатации при одновременном качественном обслуживании, а при необходимости проводит разные виды ремонта (малый, средний, капитальный). Договором обязательно предусматривается применение при ремонтах запасных деталей от фирмы-изготовителя, что обеспечивает надежность функционирования оборудования. Одновременно через фирму-аутсорсер предприятие-потребитель оборудования поддерживает постоянную связь с фирмой-изготовителем, которая на этой основе разрабатывает для клиента новые модификации оборудования под специальные заказы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Levitt T.* After the Sale is Over // Harvard Business Review. 1983. Vol. 14. P. 83–97.
2. *Комлер Ф.* Основы маркетинга. М. : Прогресс, 1990. 736 с.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Общие положения

1.1. Сборник «Гетеромагнитная микроэлектроника» выходит 2 раза в год и публикует материалы теоретических и экспериментальных исследований полупроводниковых и магнито-полупроводниковых микро- и нанoeлектронных систем, включая системы с цифровой обработкой информации, новых типов датчиков, активных устройств (усилителей, генераторов, синтезаторов частот и др.), а также статьи о новых технологиях, методах и средствах контроля, о современном метрологическом обеспечении, подготовке и переподготовке кадров, прогнозно-аналитических исследованиях.

1.2. Объем статьи не должен превышать 16 страниц (1 печатного листа).

1.3. Для публикации статьи автору необходимо представить в редакцию следующие материалы и документы (1 экз.) :

- сопроводительное письмо;
- внешнюю рецензию;
- сведения об авторах : фамилии, имена и отчества (полностью), рабочий адрес, телефоны, e-mail;
- экспертное заключение;
- текст статьи на русском языке, подписанный авторами, а также название статьи, инициалы и фамилии авторов, аннотацию и ключевые слова на русском и английском языках.

2. Структура публикаций

2.1. Рукопись оформляется следующим образом :

- первая строка – индекс УДК, выровненный по левому краю текста;
- вторая строка – заголовок статьи прописными буквами (шрифт полужирный, по центру) без переносов;
- третья строка – перечень авторов (инициалы предшествуют фамилии), разделенный запятыми (шрифт полужирный, по центру);
- четвертая строка – полное официальное название организации (при нескольких организациях каждое наименование на отдельной строке, шрифт обычный, по центру);
- пятая строка – почтовый адрес (с индексом) организации (шрифт обычный, по центру);
- затем аннотация и ключевые слова на русском языке.

2.2. Далее приводится заглавие статьи, инициалы и фамилии авторов, аннотация и ключевые слова на английском языке.

2.3. Далее текст статьи и библиографический список на русском языке.

3. Требования к оформлению рукописи

3.1. Текст статьи должен быть напечатан через одинарный интервал на белой бумаге формата А4 с полями не менее 2,5 см, размер шрифта – 14. Дополнительный материал набирается шрифтом 12 (аннотации, таблицы, сноски, примечания, приложения, подписи и надписи к рисункам, содержание, библиографический список, выходные данные, колонтитулы).

3.2. Все страницы рукописи, включая библиографический список, таблицы, рисунки, следует пронумеровать по центру внизу страницы.

3.3. Векторные величины выделяются полужирным шрифтом.

3.4. Каждая таблица должна быть пронумерована арабскими цифрами и иметь тематический заголовок, кратко раскрывающий ее содержание (выравнивание по левому краю таблицы. Например, Таблица 1. Требования к ...). Точка в конце заголовка не ставится. Единицы измерения указываются после запятой. Ссылка на таблицу должна предшествовать ей.

3.5. Формат рисунка должен обеспечивать ясность передачи всех деталей. Обозначения и все надписи на рисунках даются на русском языке; размерность величин указывается через запятую. Подрисуночная подпись должна быть самодостаточной без апелляции к тексту (например, Рис. 1. Зависимость ...). Подписи к рисункам не должны выходить за его границы. Точка в конце подрисуночной подписи не ставится. Ссылка на рисунок должна предшествовать ему.

3.6. Нумеровать следует наиболее важные формулы, на которые имеются ссылки в последующем тексте. Номер располагают по правому краю полосы по центру формулы.

3.7. Библиографический список оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 и открывается размещенным по центру заголовком. Все ссылки даются в квадратных скобках (например, [4]). Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Библиографическое описание оформляется следующим образом :

Образец описания книги :

1. *Игнатьев А.В., Ляшенко А.В.* Магнитоэлектроника СВЧ-, КВЧ-диапазонов в пленках ферритов. – М. : Наука, 2005. – 380 с.

Образец описания статьи в журнале :

2. *Игнатьев А.А., Страхова Л.Л., Овчинников С.В.* Профессиональная направленность современного курса физики для студентов-геофизиков классического университета // Физическое образование в вузах. – 2002. – № 2. – С. 14–18.

3. *Poon H.C.* Modeling of bipolar transistor using integral charge control model with application to third-order distortion studies // IEEE Trans. – 1972. – Vol. ED-12, № 6. – P. 719–731.

Образец описания статьи в сборнике :

4. *Игнатьев А.А., Ляшенко А.В., Солопов А.В. и др.* О времени тепловой готовности феррит-транзисторного СВЧ-генератора на высоких уровнях мощности // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. докл. и ст. науч.-техн. совещ. Вып.1 : Многофункциональные комплексированные устройства и системы СВЧ- и КВЧ-диапазонов.– Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2004. – С. 139–151.

Образец описания патентов :

5. Пат. 72788 Российская Федерация, МПК⁷ Н 01 L 43/08, Н 01 L 27/14, G 01 R 33/05, G 01 R 33/04. Устройство для измерения магнитного поля.

4. Требования к оформлению электронной версии

4.1. Текст рукописи должен быть представлен в виде одного файла на дискете «3,5», CD или по электронной почте в формате Microsoft Word 97/2000, шрифт Times New Roman, размер шрифта в соответствии с п.3.1, межстрочный интервал одинарный, величина отступа 5 пробелов. Вся работа должна быть выполнена одной гарнитурой (Times New Roman).

4.2. Формулы набираются в редакторе формул Microsoft Equation, входящем в состав Microsoft Word. Греческие буквы должны набираться обычным шрифтом, латинские – курсивом. Запись химических элементов – обычным шрифтом. Векторы – полужирным шрифтом.

4.3. Диаграммы, графики и фотографии должны быть выполнены в черно-белом цвете.

4.4. Иллюстрации должны быть представлены в форматах TIFF, JPEG. Названия файлов с рисунками должны включать фамилию первого автора и номер рисунка.

Дискеты и рукописи не возвращаются

Адрес : Россия, 410040, г. Саратов, пр. 50 лет Октября, ОАО «НИИ-Тантал»
Тел. : 8-(8452) 35-53-39
Факс : 8-(8452) 34-08-70
E-mail : kbkt@san.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Теоретические и экспериментальные исследования, компьютерные технологии	
<i>А.А.Игнатъев, Куликов М.Н., Масленникова А.С., Прозоркевич А.В.</i> Применение гетеромагнитных датчиков для обнаружения и локализации ферромагнитных объектов за немагнитными преградами	4
<i>Байбурин В.Б., Волков Ю.П., Спицин С.Д., Ляшенко А.В.</i> Голографический лазерный микроманипулятор на основе Бесселевых пучков	12
<i>Байбурин В.Б., Кузнецов О.С., Волков Ю.П., Ляшенко А.В.</i> Сканирующая зондовая микроскопия высокого разрешения бактериальных клеток	16
<i>Байбурин В.Б., Ильин Е.М., Волков Ю.П., Спицин С.Д., Ляшенко А.В.</i> Использование метода <i>compressed sensing</i> в современных томографических методах сбора данных	20
<i>Сотов Л.С.</i> Методы синтеза устройств, выполняющих инструкции перестановки битов данных	25
<i>Овчинников С.В., Сотов Л.С.</i> Методика оценки чувствительности первичного преобразователя для датчика вибраций на основе СВЧ-феррорезонансного автогенератора	51
<i>Сотов Л.С.</i> Об эффективности использования специальных команд преобразования форматов данных в вычислительной технике	61
Методические аспекты физического образования	
<i>Игнатъев А.А., Машинский К.В., Прозоркевич А.В.</i> Лекционная демонстрация трансформатор Тесла	81
<i>Романченко Л.А., Игнатъев А.А.</i> Управление качеством образования в России, США и странах Европы	86
Экономика в промышленности	
<i>Солопов А.А.</i> Анализ тенденций развития НИОКР в оборонно-промышленном комплексе	97
<i>Федорчук Ю.М.</i> Стратегии адаптации системы высшего профессионального образования в инновационной экономике	102
<i>Мызрова О.А.</i> Анализ и оценка факторов, влияющих на инновационную активность промышленных предприятий	114
<i>Горячева Т.В.</i> Особенности реализации промышленной политики на предприятиях нанотехнологических производств	125
<i>Олейникова Е.В.</i> Составляющие формирования конкурентоспособности отечественного оборудования при использовании аутсорсинга	132
Правила для авторов	145

Подписка на 2012 г.

Индекс издания по объединенному каталогу «Пресса России» 29005,
Интернет-каталог Агентства «Книга-Сервис»,
раздел 24 «Компьютеры. Информатика. Программные продукты»,
раздел 30 «Научно-технические издания. Известия РАН. Известия вузов».
Сборник выходит 2 раза в год.

Научное издание

ГЕТЕРОМАГНИТНАЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

Сборник научных трудов

Выпуск 10

**Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника.
Прикладные аспекты. Экономика.
Методические аспекты физического образования**

Под редакцией профессора *А.В. Ляшенко*

Редактор *Е.А. Малютина*
Редактор английского текста *Е.А. Игнатьева*
Технический редактор *Л.В. Агальцова*. Корректор *Е.Б. Крылова*
Оригинал-макет подготовили *О.Г. Данке, Т.Н. Сиротинина*

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-35636 от 17.03.2009.

Подписано в печать 25.06.2011. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,60 (9,25). Уч.-изд. л. 8,7. Тираж 100. Заказ 56.

Издательство Саратовского университета. 410012, Саратов, Астраханская, 83.
Типография Издательства Саратовского университета. 410012, Саратов, Астраханская, 83.