

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВАМИ ЛАЗЕРНОЙ ЗАПИСИ

В. А. Слуев, К. К. Смирнов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск

E-mail: sluev@iae.nsk.su

Представлен комплекс аппаратно-программных средств для систем лазерной записи. Предложен метод многостраничной записи с учетом движения объекта для динамического формирования изображений на цилиндрических поверхностях. В комплексе реализованы средства создания защитной лазерной маркировки с использованием многоуровневого режима лазерной записи.

Введение. Системы лазерной маркировки выпускаются многими зарубежными, а в последние годы и российскими фирмами. В настоящее время для формирования изображений на поверхности объектов широко применяются лазерные устройства с системой развертки луча с помощью двухкоординатных угловых электромеханических дефлекторов (сканеров). Во многих применениях такие устройства являются более скоростными и гибкими, чем системы, основанные на использовании координатных столов, вращающихся барабанов и т. д. Размер зоны сканирования в устройствах с двухкоординатными угловыми дефлекторами ограничен возможностями оптической системы и, как правило, не превышает 10×10 см [1]. Увеличение размера зоны записи связано с усложнением системы и ведет к ее значительному удорожанию и снижению скорости вывода. Для вывода изображений большого размера используются системы с перемещающимся узлом записи: лазерные граверы с плоским полем регистрации или системы с растровой разверткой [1, 2]. Однако скорость вывода в таких системах значительно ниже. Одним из способов совмещения быстродействия дефлекторов и произвольного размера зоны нанесения, свойственного системам с перемещающимся узлом записи, является разбиение выводимого изображения на ограниченные оптической системой зоны – назовем их страницами – с последующей записью каждой страницы с помощью дефлекторов и перемещением узла записи или детали до следующей страницы [3, 4]. Размер страницы выбирается таким, чтобы она полностью входила в зону записи дефлекторов. Разбиение исходного изображения на страницы может оказаться необходимым при нанесении рисунков на всю длину окружности цилиндрических деталей либо на вытянутые по одной из координат детали на ленте конвейера.

Целью данной работы является создание новых аппаратно-программных средств, позволяющих осуществлять многостраничную лазерную запись на

цилиндрических поверхностях, а также запись с разбиением исходного изображения на фрагменты и вывод каждого из них с различными уровнями мощности лазера (многоуровневый метод регистрации), что дает определенную степень защиты маркируемых изделий от подделки.

Описание управляющей программы и основные параметры маркировки. Представим разработанную в Институте автоматизации и электрометрии СО РАН систему управления устройствами векторной лазерной записи, которая включает в себя специализированную программу MARKER, работающую в среде WINDOWS, и управляющий контроллер, спроектированный для векторной лазерной записи. При использовании разработанной системы задача вывода изображения разбивается на три независимые:

1. Начальная подготовка рисунка в каком-либо широко известном графическом пакете, например в Corel DRAW, затем экспорт готового изображения в векторном формате данных HPGL в файл.

2. Работа со специализированным приложением, программой MARKER, использующей файлы в формате HPGL как входные. Подготовка информации для непосредственного вывода изображения с использованием различных параметров, учитывающих динамику дефлекторов и системы перемещения материала. Система подготовки данных может быть реализована на базе стандартного компьютера как приложение, преобразующее эти данные из векторного формата HPGL в формат для выходного контроллера, управляющего непосредственно дефлекторами.

3. Загрузка данных вместе с управляющей информацией непосредственно в контроллер, на который возлагается задача генерации микровекторов и различных временных интервалов, учитывающих динамику дефлекторов, свойства лазера, движение материала и др. При этом скорость передачи информации от компьютера к контроллеру управления, как правило, не превышает 50 кбайт/с. Необходимо также отметить, что в системе лазерной маркировки не требуется управляющий контроллер большой вычислительной мощности, поскольку файл управления может быть подготовлен заранее и не меняться длительное время.

Программа MARKER реализована в виде графического приложения Win32 и может быть исполнена в среде любой 32-разрядной операционной системы фирмы "Microsoft" такой, как Windows 9x/Windows ME, или Windows NT/Windows 2000, или Windows XP. Исходный файл в формате HPGL представляет собой перечень векторов, по которым должен перемещаться луч лазера. Каждый вектор снабжается признаком включенного или выключенного луча лазера. Диапазон исходных координат и их размерность программе безразличны. Необходимо только, чтобы они были целыми числами и не выходили за пределы диапазона $-32767 \dots +32767$. Вид окна приложения с редактируемыми элементами представлен на рис. 1. В центре окна документа схематично изображается поле, доступное для маркировки. Вертикальный размер этого поля определяется параметрами сканирующей системы (фокусным расстоянием объектива и угловым диапазоном перемещения сканирующего зеркала). Горизонтальный размер поля для обработки изделия на столе равен вертикальному, а для круглых изделий равен длине развертки обрабатываемой цилиндрической поверхности.

Приложение MARKER имеет ряд встроенных средств для редактирования графических элементов документа. Все функции редактирования применяются к выделенным в данный момент элементам. Элемент может быть масштабирован или перемещен в поле документа стандартным образом с

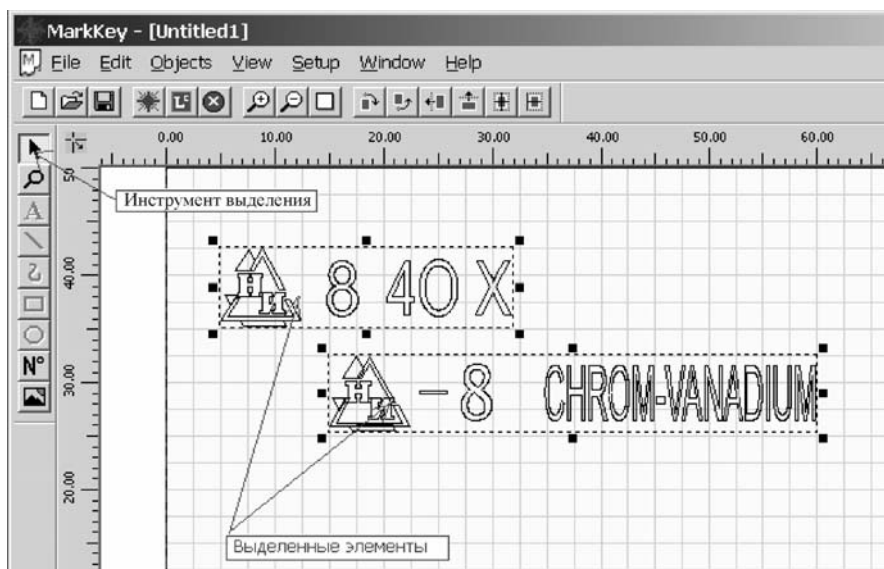


Рис. 1

помощью мыши. Имеется возможность выполнять дополнительные операции редактирования: центрирование выделенных элементов в поле маркировки или перемещение их к левому краю поля, зеркальное отражение в горизонтальном и вертикальном направлениях, поворот на 90° по или против часовой стрелки и дублирование элементов. Для облегчения операций позиционирования можно изменять масштаб вида документа, а также использовать подходящую сетку в поле маркировки документа. Максимальное увеличение вида документа приблизительно соответствует шагу линейки в окне документа, равному 0,1 мм. Шаг сетки, устанавливаемый по умолчанию, равен 2,5 мм по обоим направлениям и может быть изменен через соответствующее диалоговое окно.

Основные параметры маркировки задаются в окнах программы MARKER:

1. Скорость движения лазерного луча.
2. Мощность лазерного излучения.

3. Размер страницы рисунка. Изображение не может быть нанесено на круглую поверхность как одно целое и, как следствие, разбивается на страницы одинаковой длины. Ширина страницы ограничивается степенью кривизны поверхности детали (диаметром) и должна быть максимально возможной для ограничения потери качества из-за погрешности совмещения страниц. Также на качество совмещения страниц влияет эксцентриситет маркируемого изделия относительно оси вращения детали

4. Диаметр маркируемого изделия. Для правильного совмещения страниц изображения этот параметр должен быть введен в систему с точностью до десятых долей миллиметра.

Инерционная масса дефлекторов и зеркал, задержки в управляющей электронике приводят к появлению запаздывания между управляющим сигналом позиционирования и началом (либо концом) движения. Для компенса-

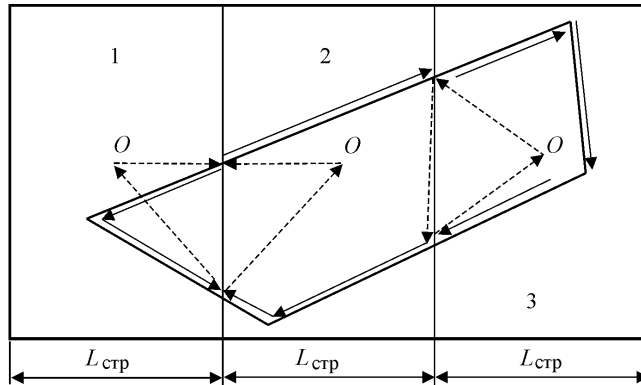


Рис. 2

ции запаздывания в позиционировании в число управляющих введено два параметра: задержка включения и выключения лазера. Манипулируя величиной этих параметров, можно достаточно точно компенсировать влияние инерционности системы на качество рисунка.

Разбиение полного изображения на страницы. Пример разбиения изображения на страницы представлен на рис. 2. Векторы, пересекающие границы страниц, разделяются; добавляются новые вспомогательные векторы, обозначенные пунктирной линией таким образом, чтобы рисунок на каждой странице представлял собой законченное целое и мог быть выведен независимо от других страниц. Так, рисунок каждой страницы всегда должен начинаться из одной точки O (центральной) и в ней же заканчиваться. Требование начала и конца страницы в одной точке определяется необходимостью точного знания положения дефлекторов в начале рисования и запрета их неконтролируемого перемещения. После вывода первой страницы узел записи с дефлекторами перемещается ровно на одну страницу. Таким образом точка O оказывается в центре следующей страницы. Возможно также возвращение дефлекторов в точку O только в конце вывода последней страницы. В этом случае уменьшается общая длина векторов, необходимых для разбиения рисунка на страницы, но возникает связанность страниц и в результате невозможность использования подготовленного файла каждой из страниц в качестве отдельного рисунка.

Полное изображение должно быть выведено постранично без видимых границ «склейки» страниц. При этом предполагается, что изображения представляют собой векторные файлы формата HPGL, полученные в любой прикладной программе, имеющей выход в этот формат. С помощью программы MARKER изображение разбивается на отдельные страницы, а каждый вектор формата HPGL – на микровекторы, размер которых определяется требуемой скоростью вывода и динамическими параметрами системы.

При поточной маркировке изделий рисунок, как правило, состоит из двух частей: неизменяемой – общей для большого количества изделий (например, логотип фирмы-изготовителя) и изменяемой (предполагается, что это может быть только номер изделия) (рис. 3).

В этом случае в память управляющего контроллера загружается неизменяемый рисунок, набор векторных файлов, представляющих собой цифры от

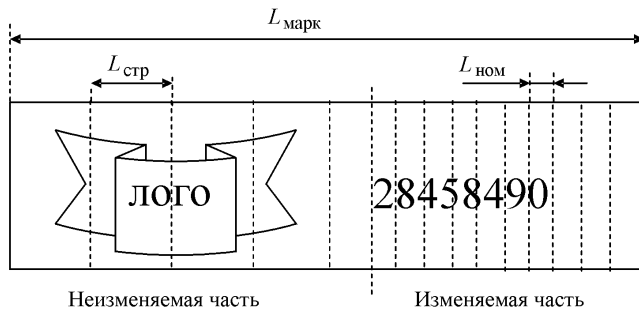


Рис. 3

0 до 9, и начальное значение номера. После этого контроллер отключается от линии связи с компьютером и может работать автономно.

Размер страницы L может не совпадать с длиной цифры $L_{\text{ном}}$. Возможны следующие варианты:

1. $L \geq L_{\text{ном}}$. Контроллер последовательно записывает страницы изображения и при переходе к записи номера заменяет L обозначением $L_{\text{ном}}$.

2. $L < L_{\text{ном}}$. Файлы, содержащие цифры, являются многостраничными, и запись каждой цифры аналогична записи многостраничного изображения.

Минимально возможный шаг перемещения материала, задаваемый приводом развертки координат, в общем случае не совпадает с минимальным шагом дефлекторов, определяемым разрядностью управляющих цифроаналоговых преобразователей (ЦАП) дефлекторов и оптико-механическими свойствами системы. Это может привести к видимым дефектам при стыковке соседних страниц изображения. В программе MARKER размер страницы задается кратным минимальному шагу перемещения материала.

Временные соотношения при многостраничном выводе. При движении лазерной головки относительно неподвижного материала либо вращения маркируемого изделия относительно неподвижной лазерной головки необходимо определить время начала вывода каждой страницы. Положение страницы до начала рисования и после должно быть симметричным центральной оси зоны рисования O (рис. 4). При соблюдении этого условия страницы изображения будут выводиться симметрично центральной оси дефлекторов. Введем следующие обозначения: $T_1, T_2, T_3, \dots, T_N$ – время вывода страниц, определяемое скоростью движения дефлекторов и сложностью изображения; T_S – время от установки первой страницы рисунка в центре зоны рисования до момента начала движения конвейера либо до момента срабатывания концевого ограничителя; V – скорость движения материала относительно лазерной головки.

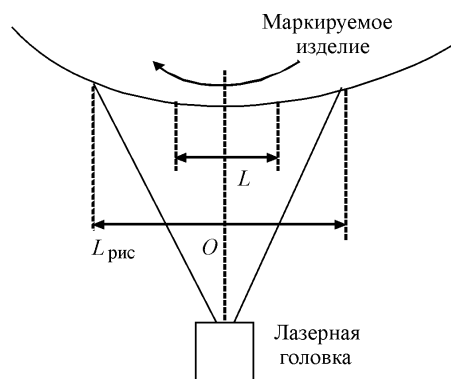


Рис. 4

Тогда время до начала рисования страниц можно выразить как

$$T_{1S} = T_S - T_1/2, \quad T_{2S} = T_S + L/V - T_2/2,$$

$$T_{3S} = T_S + 2(L/V) - T_3/2, \quad T_{NS} = T_S + (N-1)(L/V) - T_N/2.$$

Однако все отсчеты в целях минимизации погрешности измерения и устранения ее накопления лучше производить не в единицах времени, а в единицах перемещения материала, поскольку размер страницы L также определяется в этих единицах.

В таком случае V находится как количество элементарных перемещений материала в единицу времени. T_S преобразуется в $N_S = T_S V$ – количество единиц смещения материала (например, количество шагов двигателя). Пусть N – длина страницы в единицах элементарных шагов, а P_1, P_2, \dots, P_N – расстояние, на которое смещается лазерная головка относительно маркируемого изделия за время вывода 1-, 2- и N -й страниц. Тогда

$$P_1 = T_1 V, \quad P_2 = T_2 V, \quad P_3 = T_3 V, \quad P_i = T_i V.$$

Путь до начала рисования страниц

$$S_1 = N_S - P_1/2, \quad S_2 = (N_S + N) - P_2/2,$$

$$S_3 = (N_S + 2N) - P_3/2 \quad S_i = [N_S + (i-1)N] - P_i/2,$$

или

$$S_i = S_{i-1} + N - P_i/2.$$

Таким образом, для корректного вывода многостраничного файла изображения передача каждой страницы на вывод должна сопровождаться либо информацией о времени ее вывода, либо управляющий контроллер должен вычислять время вывода исходя из других передаваемых параметров.

Формат файла страницы. Файл, описывающий страницу, представляет собой набор данных, содержащих микровекторы перемещения дефлекторов, а также информацию о динамике перемещения и параметрах мощности лазера. Структура файла представлена на рис. 5. Каждый микровектор кодируется четырьмя байтами. При этом предполагается, что разрядность выходных ЦАП равна 12. В первых трех байтах содержатся значения X - и Y -координат, в четвертом, контрольном, байте – служебная информация для управления дефлекторами. Младшие четыре бита управляют загрузкой одного из 16 значений мощности лазера. Под мощностью для CO_2 -лазеров понимается длительность импульса включения/выключения лазера, для импульсно-непрерывных лазеров – управляющая генерацией частота. Данный параметр управления является аналогом номера пера рисования для плоттеров и в соответствии с [5] позволяет вместе с нанесением маркировки реализовать определенную степень защиты маркируемого изделия от подделки. При выводе линий пером с номерами 0, 1, 2, 3 задается соответствующий признак изменения мощности луча лазера, что фактически обеспечивает либо разную глубину гравировки, либо различные физико-химические реакции в маркируемом материале. Единица в разряде признака конца страницы при-

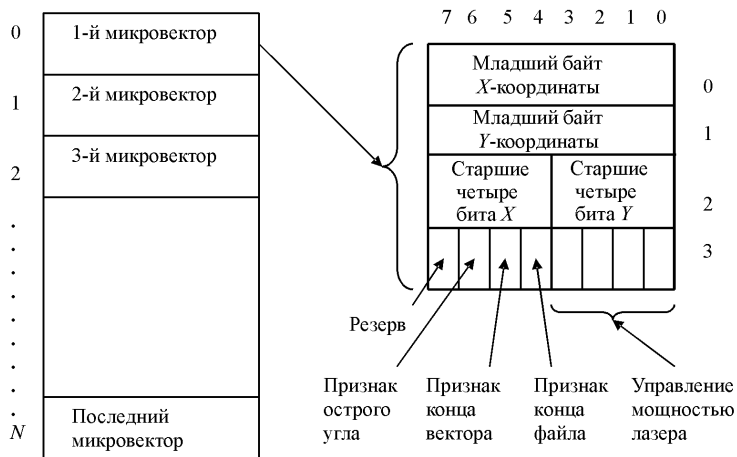


Рис. 5

существует только в последнем микровекторе файла. Разряды признака острого угла и конца вектора позволяют вводить задержки на перемещение в случае изменения направления движения.

Аппаратная реализация. Структурная схема контроллера представлена на рис. 6. Контроллер управления в системе лазерной маркировки представляет собой плату микрокомпьютера с 8-разрядным управляющим микропроцессором и является элементом более общей системы управления лазерными технологическими установками [4]. Плата микрокомпьютера

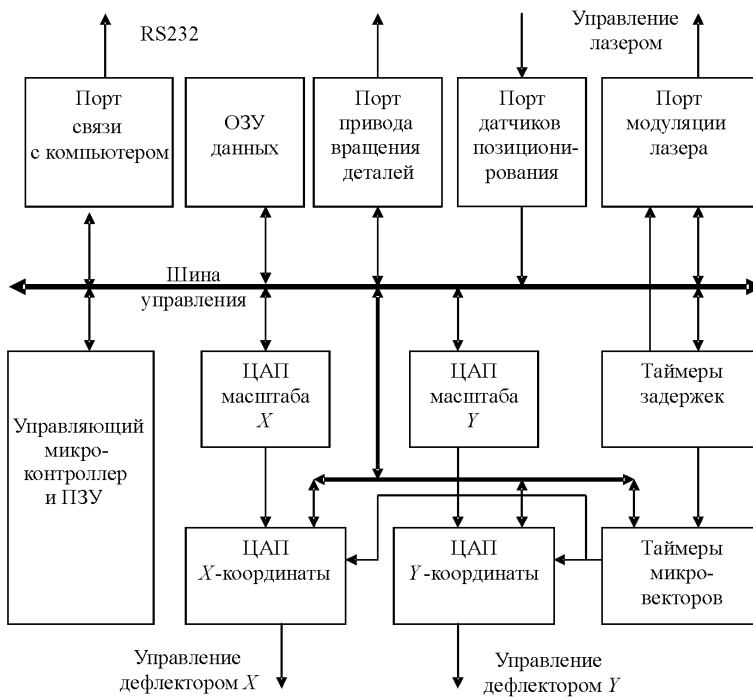


Рис. 6

включает в себя кроме микропроцессора микросхему памяти типа ОЗУ емкостью 128 кбайт, два 8-разрядных ЦАП, четыре 12-разрядных ЦАП, две микросхемы таймеров, микросхему последовательного интерфейса, два параллельных интерфейса, драйверы шаговых двигателей, а также другие неосновные элементы. С управляющим компьютером контроллер соединяется с помощью кабеля последовательного интерфейса, подключаемого к последовательному порту компьютера и к входам последовательного интерфейса микросхемы микропроцессора. Выходы 8-разрядных ЦАП подключены к входам опорного напряжения 12-разрядных ЦАП для установки масштаба выводимого изображения по координатам X и Y . Выходы четырех 12-разрядных ЦАП подключены к входам управления дефлекторами по X -, Y -координатам и по X -, Y -координатам смещения. Разрядность выходных ЦАП определяет дискретность выводимого изображения. Частота импульсов, управляющих мощностью лазера, их длительность задаются микросхемами таймеров и программируются микропроцессором. Контроллер управляется набором команд, представляющих собой блок символов, начинающийся стартовым маркером и заканчивающийся передачей контрольной суммы. Одной из команд является команда передачи файла изображения. Компьютер с помощью программы MARKER передает требуемый файл, микропроцессор принимает передаваемые данные и загружает их в заранее отведенную область памяти ОЗУ. Для вывода изображения программа управления контроллером последовательно загружает ЦАП, управляющие дефлекторами по координатам X и Y , данными из файла описания изображения, переданного по последовательному каналу связи.

Представленная выше управляющая система была использована в реальных условиях, например в системе лазерной маркировки ликероводочной продукции [6]. Увеличенный фрагмент этикетки с маркировкой представлен на рис. 7, *a*. Другим примером применения является система лазерной маркировки, предназначенная для автоматического нанесения алфавитно-цифровой и графической информации на поверхность изделий инструментального производства методом лазерного гравирования. Для полуавтоматической маркировки круглых изделий в виде головок ключей система содержит полуавтомат роторного типа с ручной установкой маркируемого изделия, автоматической маркировкой и выгрузкой изделия с комплектом держателей маркируемых изделий. Система вывода позволяет осуществить маркировку

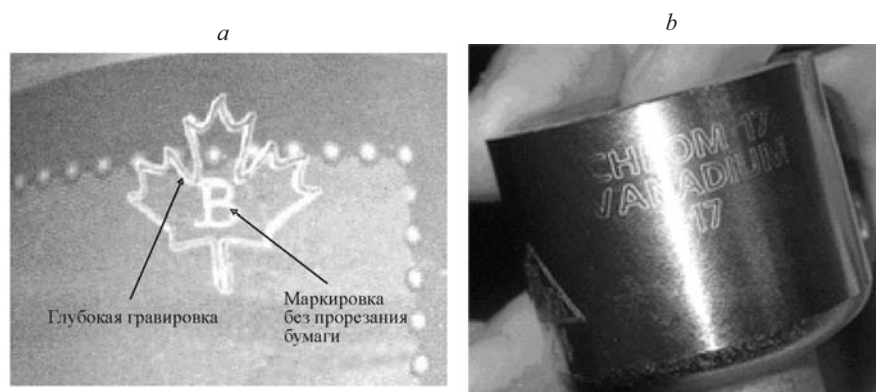


Рис. 7

по полной окружности изделия с использованием метода разбиения изображения на страницы. Отмаркированная деталь представлена на рис. 7, б.

Заключение. Разбиение маркируемого изображения на страницы дает возможность в векторном режиме наносить маркировку на цилиндрические поверхности, а также значительно увеличивает размер зоны маркировки. Загрузка в управляющий контроллер заранее подготовленного векторного файла изображения в виде микровекторов, а также алфавита цифр позволяет применять контроллер автономно (без связи с компьютером), способствует снижению стоимости большинства узлов. Многоуровневый режим лазерной записи реализует определенную степень защиты от подделки, что необходимо во многих отраслях промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **3D лазерные** информационные технологии /Под ред. П. Е. Твердохлеба. Новосибирск: ИАиЭ СО РАН, 2003.
2. **Bessmeltsev V. P., Sluev V. A.** Dual-processor controller for laser technological systems // Proc. IASTED Intern. Conf. "Automation, Control, and Information Technology". Anaheim – Calgary – Zurich: ACTA Press, 2002. P. 34.
3. **Бессмельцев В. П., Голошевский Н. В.** Система управления составными двухкоординатными сканаторами // Автометрия. 2007. **43**, № 1. С. 116.
4. **Кравцов А. А., Леонов А. М.** Перспективы массового применения лазерной маркировки // Proc. of the Fifth Intern. Conf. "Beam technologies & Laser application". Saint-Petersburg: Publishing house SPbSPU, 2006. P. 132.
5. **Пат. 2146200 РФ.** Способ лазерной маркировки /В. П. Бессмельцев, Г. Н. Алферов, С. Г. Баев, В. А. Слуев. Оpubл. 10.03.2001, Бюл. № 7.
6. **Алферов Г. Н., Баев С. Г., Бессмельцев В. П. и др.** Применение лазерной маркировки для защиты ликероводочной продукции // Пиво и напитки. М.: Изд-во пищевая пром., 1999.

Поступила в редакцию 26 апреля 2006 г.