

Автоматизированная Линия Ультразвукового Напыления Антикоагулянта в Пробирки для Забора Крови

Владимир Н. Хмелев, *Senior Member*, IEEE, Андрей В. Шалунов, Виктор А. Нестеров,
Денис С. Абраменко, Дмитрий В. Генне, Роман С. Доровских
Центр ультразвуковых технологий, Бийск, Россия

Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, Бийск, Россия

Аннотация – В статье представлены результаты работ по созданию автоматизированной линии ультразвукового напыления антикоагулянта на внутреннюю поверхность пробирок для забора крови. Разработанная линия обеспечивает автоматическую подачу пробирок, их перемещение в зону распыления, равномерность напыления, сушки. Производительность линии составляет 1500 изделий/час.

Ключевые слова – Автоматизированная линия, ультразвук, распыление, антикоагулянт, пробирка

I. ВВЕДЕНИЕ

В НАСТОЯЩЕЕ время аэрозольные технологии находят широкое применение в различных отраслях промышленности для решения производственных задач, требующих качественного мелкодисперсного распыления различных жидкостей с высокой производительностью.

Одной из таких задач является напыление антикоагулянта на внутреннюю поверхность пробирок для забора крови, который препятствует сворачиванию крови. Задача осложняется необходимостью равномерного нанесения по всей внутренней поверхности пробирки строго дозированного количества антикоагулянта, поскольку несоответствие концентрации антикоагулянта объему взятой крови, а также недостаточно тщательное смешивание могут повлечь за собой неточное определение концентрации клеточных элементов и искажение морфологической структуры клеток [1].

Потребность современной медицины в огромном количестве пробирок обуславливает необходимость автоматизации процесса распыления жидкого антикоагулянта в пробирки.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время для сбора, хранения и транспортировки образцов крови используются специальные вакуумные пробирки, предназначенные для хранения определенного количества крови с достаточным количеством дополнительных реактивов: активаторы свертывания, антикоагулянты и др. [2].

В Российской Федерации массовое производство пробирок не организовано, а импортные закупаются в недостаточных для снабжения учреждений здравоохранения количествах и имеют сравнительно высокую стоимость [3].

В связи с этим возникает необходимость создания отечественной автоматизированной линии для УЗ напыления антикоагулянта.

Кроме того, анализ функциональных возможностей существующих зарубежных линий по отзывам потребителей готовой продукции свидетельствует о ряде недостатков, приводящих к появлению брака:

- неравномерное напыление антикоагулянта;
- осыпание высушенных кристаллов антикоагулянта со стенок пробирок.

Эти недостатки обусловлены несовершенством физических принципов, положенных в основу того или иного способа распыления [4]. В настоящее время на практике реализуются следующие способы распыления жидкостей: гидравлический, механический, пневматический, электростатический и ультразвуковой.

При гидравлическом способе распыления жидкость дробится за счет давления нагнетания при свободном распаде струи (пленки или крупных капель), вытекающей с большой скоростью из соплового отверстия распылителя. Гидравлическое распыление – простой и самый экономичный по потреблению энергии способ распыления (2–4 кВт на распыление 1 т жидкости). Однако такой способ имеет серьезные недостатки, обусловленные тем, что создаваемый при гидравлическом распылении факел – неоднородный. Этот способ распыления характеризуется самой большой дисперсией образующихся капель и необходимостью регулирования расхода для обеспечения заданного качества дробления жидкости. Этот способ не применим для решения поставленной задачи, поскольку не способен обеспечить распыление жидкости с малым расходом, распыление высоковязких жидкостей и мелкодисперсное распыление.

Механическое распыление осуществляется с помощью механизмов, вращающихся от специального привода. К достоинствам этого способа следует отнести возможность распыления высоковязких и загрязненных жидкостей и широкого регулирования производительности распылителя без

существенного изменения дисперсности. Основные недостатки: высокая стоимость, сложность в изготовлении и эксплуатации, большая энергоёмкость (15 кВт на 1 тонну жидкости) и, кроме этого, наличие вентиляционного эффекта.

В случае пневматического распыления диспергирование является следствием динамического взаимодействия потока распыляемой жидкости с потоком распыляющего газа. К достоинствам данного способа распыления относятся: возможность получения относительно мелкодисперсных капель жидкости, менее выраженная зависимость качества распыления от расхода жидкости, по сравнению с рассмотренными способами, надёжность в эксплуатации, возможность распыления относительно вязких жидкостей. Недостатками способа являются: высокий расход энергии на распыление (50–60 кВт на 1 т жидкости), необходимость в распыляющем агенте (специальном оборудовании для его подачи), что значительно сокращает область применения данного метода.

При электростатическом распылении струя (пленка) жидкости подаётся в область сильного электрического поля. Недостатки этого способа распыления: необходимость в дорогостоящем оборудовании, высокая энергоёмкость, малая производительность и сложность обслуживания распылительного оборудования [5].

Таким образом, используя гидравлический, механический, пневматический или электростатический способы распыления жидкостей, сложно реализовать автоматизированный процесс качественного (равномерного) нанесения точного количества антикоагулянта на внутреннюю поверхность пробирки.

В свою очередь, анализ возможностей ультразвукового (УЗ) способа распыления применительно к решению проблемы позволил выявить его несомненные преимущества:

- низкую энергоёмкость и высокую производительность процесса;
- возможность получать мелкодисперсное и монодисперсное распыление;
- высокое качество и равномерность формируемых покрытий;
- возможность дозированно распылять очень малое количество жидкости;
- возможность контроля УЗ распыления позволяет управлять процессом и реализовывать его на автоматизированных линиях.

Таким образом, среди рассмотренных способов распыления, именно ультразвуковой способ является наиболее эффективным и перспективным с точки зрения обеспечения равномерности напыляемого покрытия (антикоагулянта).

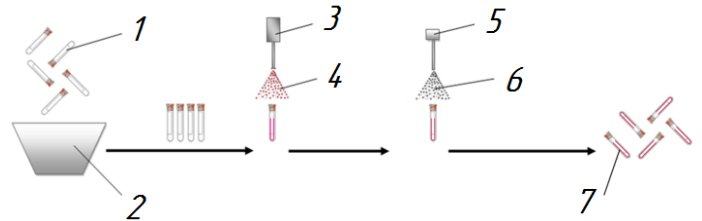
II. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛИНИИ

Процесс напыления антикоагулянта на внутреннюю поверхность пробирки в разработанном устройстве состоит из этапов, показанных на Рис. 1.

Он включает в себя:

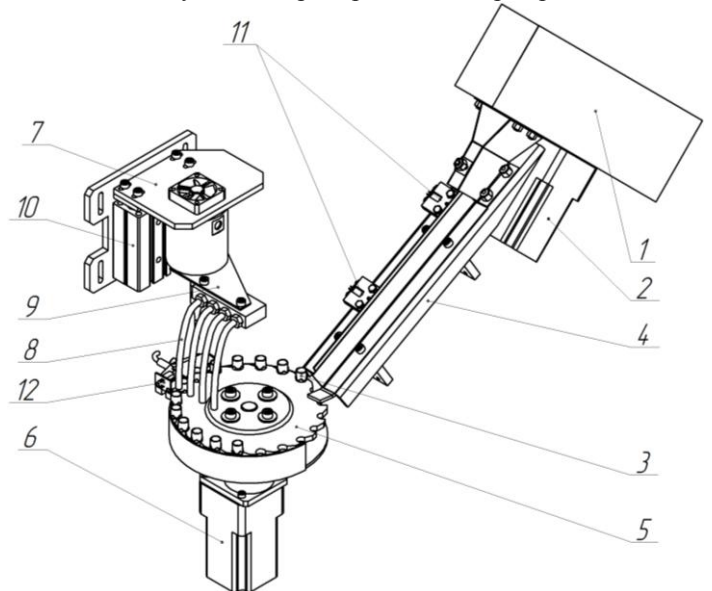
- этап загрузки необходимого количества пробирок в бункер – штучный дозатор;
- этап перемещения пробирок в зону распыления (под рабочий инструмент распылителя);

- этап перемещения колебательной системы распылителя внутрь пробирки;
- этап УЗ напыления антикоагулянта с одновременным поднятием УЗ распылителя (время и производительность распыления регулируются);
- этап сушки напыленного покрытия в пробирках;
- этап выгрузки готовых пробирок.

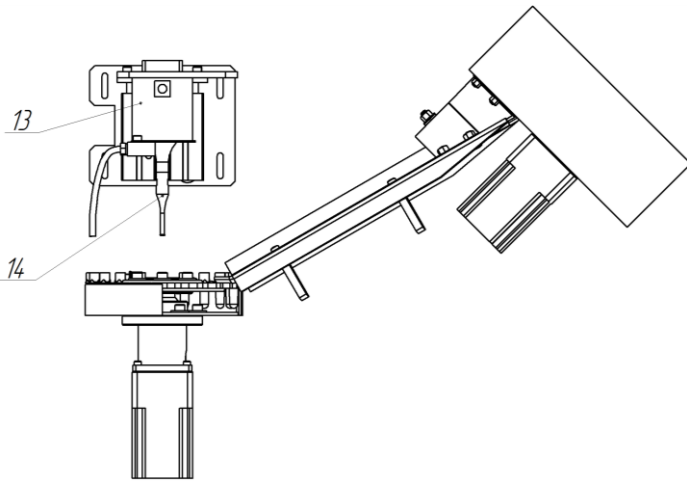


1 – пробирка; 2 – приемный бункер; 3 – УЗ распылитель; 4 – антикоагулянт; 5 – устройство подачи воздуха; 6 – воздух; 7 – готовый продукт
 Рис. 1. Схема процесса УЗ напыления антикоагулянта в пробирки

На Рис. 2, 3 показана конструкция основной механической части разработанной автоматизированной линии для напыления антикоагулянта в пробирки для забора крови.



1 – бункер – штучный дозатор пробирок; 2 – электродвигатель; 3 – пробирка; 4 – ползья-направляющие; 5 – диск для перемещения пробирок; 6 – электродвигатель; 7 – распылитель; 8 – трубки для подачи сушильного агента; 9 – рампа подачи сушильного агента; 10 – устройство вертикального перемещения; 11 – оптический датчик контроля пробирок на ползьях; 12 – оптический датчик для позиционирования диска
 Рис. 2. Конструкция механической части устройства для напыления антикоагулянта (изометрия)



13 – пьезоэлектрический преобразователь; 14 – концентратор
 Рис. 3. Конструкция механической части устройства для напыления антикоагулянта (вид сбоку)

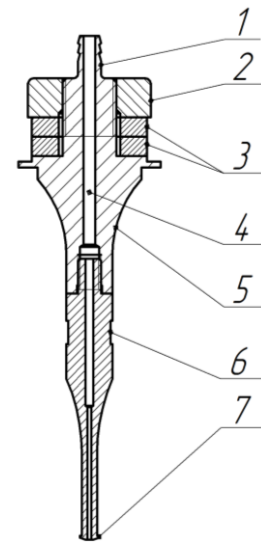
Разработанное устройство содержит бункер – штучный дозатор пробирок 1, который приводится во вращательное движение при помощи электродвигателя 2 и предназначен для загрузки пробирок 3 и их подачи при помощи ползьев-направляющих 4, которые также обеспечивают правильную ориентацию пробирок, в узел перемещения пробирок.

Узел перемещения пробирок выполнен в виде диска 5, вращающегося от электродвигателя 6 и предназначенного для перемещения пробирок в зону распыления, сушки и выгрузки готового продукта. На внешнем торце диска выполнены полукруглые пропилы для загрузки и удерживания пробирок.

Пробирки, загруженные в диск, двигаются к распылителю 7 и трубкам 8 для подачи нагретого сушильного агента.

Трубки присоединены к общей рампе 9 подачи сушильного агента. Распылитель и рампа закреплены на пневматическом устройстве вертикального перемещения 10, обеспечивающем их введение на глубину, не превышающую продольного размера пробирки, и выведение распылителя из пробирки в процессе распыления со скоростью, обеспечивающей равномерное напыление заданного количества антикоагулянта на внутреннюю поверхность пробирки.

Распылитель выполнен в виде пьезоэлектрического преобразователя 13, акустически и механически связанного с концентратором 14, выполненным в виде полого стержня, внутренний канал которого предназначен для подачи распыляемого антикоагулянта. Внешний диаметр полого стержня плавно уменьшается таким образом, что его конечный участок на длине, равной продольному размеру пробирки 3 имеет цилиндрическую форму и заканчивается распылительным окончанием, выполненным в виде конуса (Рис 4).



1 – штуцер подачи жидкости; 2 – отражающая накладка; 3 – пьезоэлектрические элементы; 4 – канал подачи жидкости; 5 – концентратор; 6 – концентратор-волновод; 7 – распылительное окончание
 Рис. 4. Ультразвуковая колебательная система

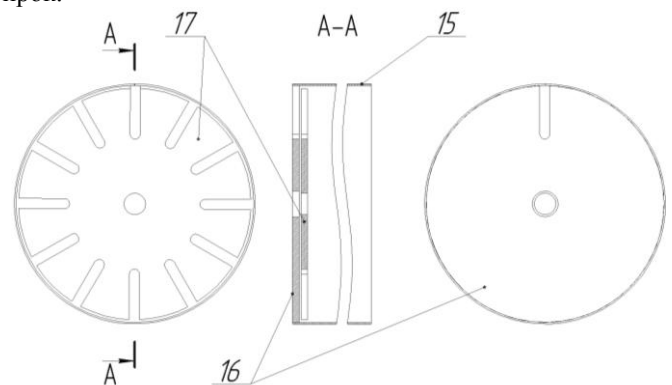
На ползьях-направляющих закреплены оптические датчики 11, предназначенные для контроля наличия/отсутствия пробирок на ползьях.

При наличии сигнала с верхнего датчика 11, который задает максимальное количество пробирок на ползьях, т.е. исключает ситуацию переполнения, происходит остановка процесса подачи пробирок из бункера (отключение электродвигателя 2) и запуск процесса загрузки пробирок в диск для их перемещения (включение электродвигателя 6).

При отсутствии сигнала с нижнего датчика 11, который задает минимальное количество пробирок на ползьях, включается электродвигатель 2 и отключается электродвигатель 6.

Оптический датчик 12 используется для контроля наличия пробирки, находящейся в диске, и ее точного позиционирования относительно концентратора распылителя при подходе в зону распыления, а также для подсчета количества обработанных пробирок.

На Рис. 5 показана конструкция бункера для подачи пробирок.



15 – полый цилиндр; 16 – неподвижный диск; 17 – подвижный диск
 Рис. 5. Конструкция бункера для подачи пробирок

Бункер выполнен в виде тонкостенного полого цилиндра 15. На нижнем основании цилиндра последовательно размещены два диска 16 и 17. Нижний из дисков 16 является неподвижным, а верхний 17 механически связан с электро-

двигателем 2, обеспечивающим его вращение относительно неподвижного диска. В верхней части диска 16 выполнен один пропилен, а в подвижном диске 17 выполнены несколько радиальных пропилов, длина и ширина которых соответствуют длине и внешнему диаметру пробирки.

К пропилену неподвижного диска 16 присоединены полозья-направляющие для вертикальной ориентации и подачи пробирок в узел перемещения пробирок.

Принцип работы автоматизированной линии заключается в следующем: в бункер вручную либо с помощью специальных автоматических устройств загружаются пробирки до заполнения не менее половины объема бункера. Затем по команде оператора включается электродвигатель, обеспечивающий вращение подвижного диска бункера. При этом пробирки заполняют пропилены в подвижном диске и продолжают движение вместе с диском.

При совмещении пропилов в подвижном и неподвижном дисках, пробирка покидает бункер и падает на полозья – направляющие, где приобретает вертикальную ориентацию. При переполнении пробирок или при их недостаточном количестве на полозьях, соответствующие оптические датчики 11 вырабатывают управляющие сигналы для запуска/остановки электродвигателей 2 и 6.

Далее пробирки загружаются в диск для перемещения пробирок. Пробирки, загруженные в диск, двигаются к распылителю и трубкам для подачи сушильного агента. Движение производится прерывисто, таким образом, что после каждого поворота диска непосредственно под распылителем и трубками оказываются пробирки.

При подходе пробирки в зону распыления датчик 12 вырабатывает управляющий сигнал и происходит остановка электродвигателя 6.

Затем устройство вертикального перемещения опускает трубки и распылитель внутрь пробирки на глубину, не превышающую длину пробирки. Производится подача по трубкам сушильного агента, включается УЗ распылитель и осуществляется выведение трубок и распылителя со скоростью, обеспечивающей равномерное напыление заданного количества антикоагулянта на внутреннюю поверхность пробирки. Прекращается подача сушильного агента и УЗ распылитель выключается.

Далее производится очередной поворот диска для перемещения пробирок и описанный цикл работы устройства повторяется.

После распылителя пробирки последовательно перемещаются между трубками для подачи сушильного агента, каждая из которых опускается в пробирку и выводится из нее одновременно с подачей сушильного агента. Таким образом, цикл сушки повторяется требуемое число раз, которое обеспечивается установкой необходимого числа трубок.

По окончании сушки пробирки извлекаются из диска.

III. АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛИНИИ

Алгоритм управления работой автоматизированной линии можно представить в виде блок-схемы (см. Рис. 6).

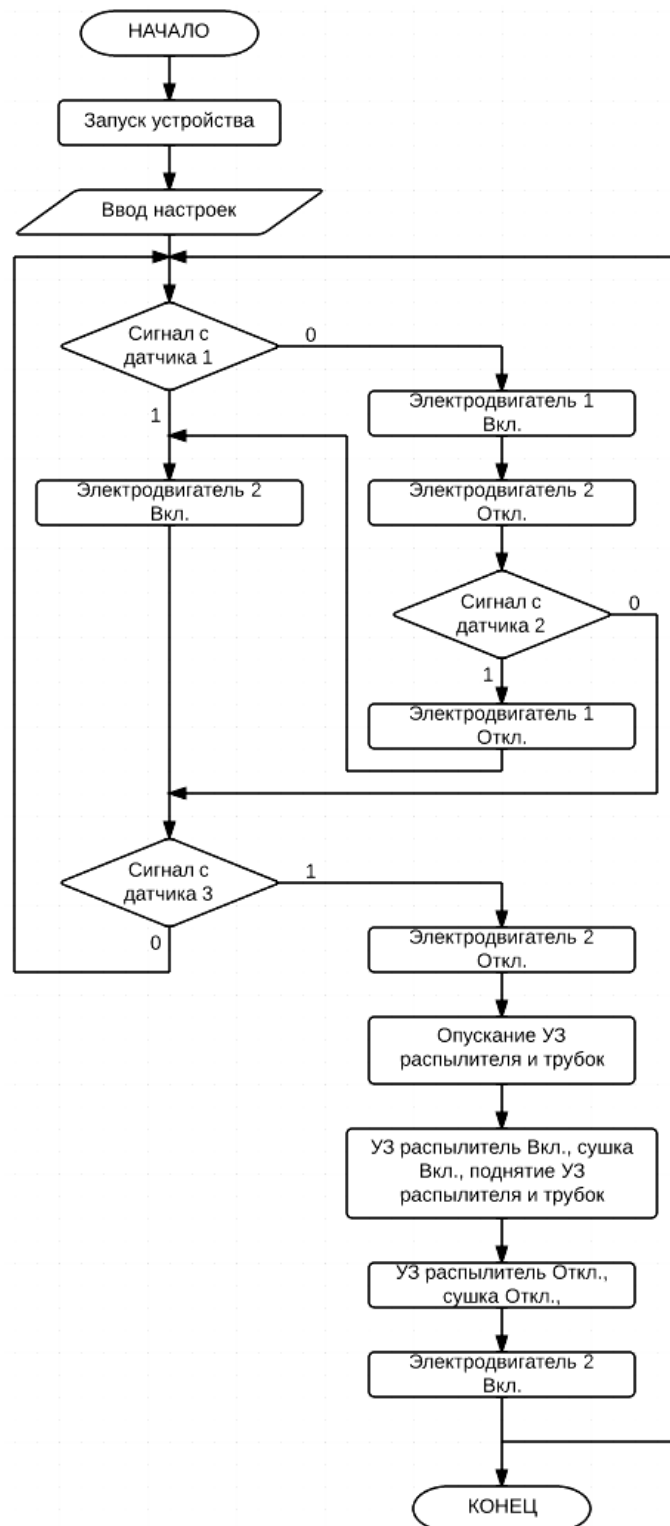


Рис. 6. Алгоритм управления работой автоматизированной линии

На представленной блок-схеме датчик 1 – нижний датчик контроля пробирок на полозьях-направляющих, датчик 2 – верхний датчик контроля пробирок на полозьях-направляющих, датчик 3 – датчик позиционирования диска для перемещения пробирок, электродвигатель 1 - электродвигатель вращения бункера, электродвигатель 2 - электродвигатель вращения диска.

IV. ИНТЕРФЕЙС ОПЕРАТОРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛИНИИ

Основной рабочий интерфейс на сенсорной панели оператора линии отображает информацию о количестве изготовленных изделий (пробирок), времени работы линии, содержит кнопки управления работой и настройки параметров автоматизированной линии, а также индикаторы, которые оповещают о предупреждениях в процессе работы линии (Рис. 7).



Рис. 7. Основной рабочий интерфейс оператора линии

Параметрами, настройка которых доступна пользователю, являются:

- основные параметры: амплитуда УЗ колебаний, время сушки, скорость вращения бункера, скорость вращения диска, период смены направления вращения бункера (Рис. 8);

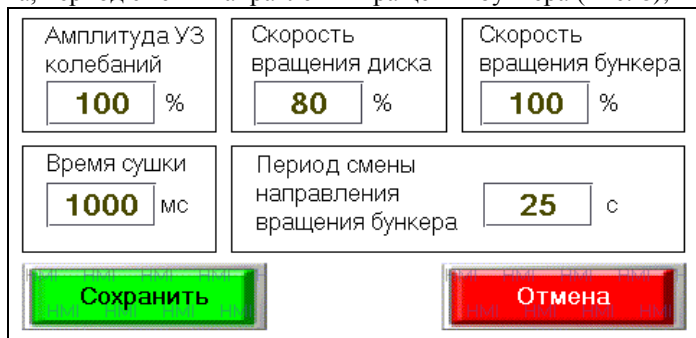


Рис. 8. Основные параметры настройки

- дополнительные параметры: время распыления жидкости в измерительную пробирку, время распыления жидкости в пробирку в рабочем режиме и объем жидкости, распыляемый в пробирку (Рис. 9).

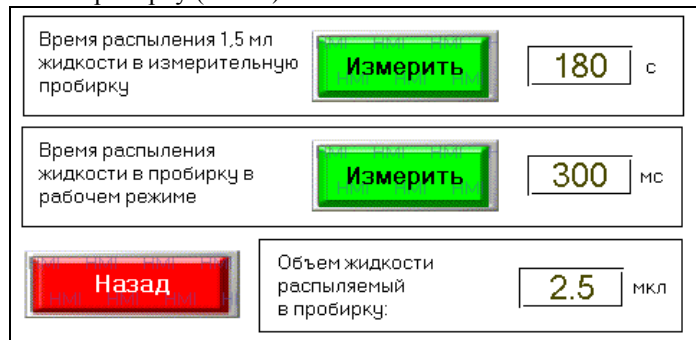


Рис. 9. Дополнительные параметры настройки

Если в процессе работы автоматизированной линии произошла какая-либо ошибка, то на сенсорной панели появится изображение с текстом ошибки и порядком действий для ее устранения.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Внешний вид разработанной автоматизированной линии ультразвукового напыления антикоагулянта в пробирки для забора крови представлен на Рис. 10.



Рис. 10. Внешний вид автоматизированной линии

Основные технические характеристики линии представлены в Табл. I.

ТАБЛИЦА I
 ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Максимальная потребляемая мощность линии, Вт	150
Питание от сети переменного тока напряжением, В	220±22
Частота механических колебаний, кГц	44±3,3
Габаритные размеры (ШхГхВ), мм	505x650x560
Производительность, изделий/ч, не менее	1500
Рабочее давление, МПа, не более	0,4
Расход воздуха, л/мин, не менее	30
Объем напыляемого антикоагулянта в одну пробирку (по сухому остатку), мкг	0,24 – 0,6

Основными преимуществами созданной автоматизированной линии УЗ напыления антикоагулянта являются:

- равномерное и однородное покрытие антикоагулянтом внутренней поверхности пробирки;
- обеспечение требуемых дисперсных характеристик получаемого распыла;
- низкая энергоемкость и высокая производительность процесса;
- улучшенные стоимостные и массогабаритные показатели, а также повышение компактности оборудования.

Предложенная установка была разработана и испытана в производственных условиях предприятия ООО «Центр ультразвуковых технологий». В производственных условиях была обеспечена производительность не менее 1500 изделий/час.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований разработана и изготовлена автоматизированная линия ультразвукового напыления антикоагулянта на внутреннюю поверхность пробирок для забора крови.

При создании автоматизированной линии решены следующие задачи:

- на основе проведенного анализа установлено, что ультразвуковой способ является наиболее эффективным для напыления антикоагулянта на внутреннюю поверхность пробирок;
- предложен и реализован способ автоматизации процесса транспортирования пробирок в зону распыления;
- разработана конструкция и изготовлен УЗ распылитель, обеспечивающий равномерное нанесение антикоагулянта на внутреннюю поверхность пробирок;
- изготовлены пьезоэлектрическая ультразвуковая колебательная система и электронный генератор для ее питания;
- разработан узел перемещения рабочего инструмента распылителя во внутренний объем пробирки.

Проведенные производственные испытания показали, что разработанная автоматизированная линия обеспечивает требуемые технические характеристики по производительности и равномерности напыления.

Работа выполнена в рамках гранта по программе «УМНИК» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (договор №0002639).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Забор крови и подготовка для исследования [Электронный ресурс] – ООО «Арсенал» – Режим доступа: <http://www.improvacuter.narod.ru/zabor-krovi.html>.
2. Системы для взятия крови и принадлежности для гематологии. Пробирка для взятия капиллярной крови Юнивет-1. [Электронный ресурс] – ЗАО «А/О Юнимед» – Режим доступа: <http://unimedao.ru/catalog/8285/8303/8305>.
3. Портал информационной поддержки медицинских руководителей. Организация работы в медицинских учреждениях по применению вакуумных систем взятия крови: проблемы на современном этапе [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.zdrav.ru/articles/practice/detail.php?ID=79246>.
4. Хмелев, В.Н. Разработка высокочастотных ультразвуковых колебательных систем для мелкодисперсного распыления жидкостей. [Текст] / В.Н. Хмелёв, А.В. Шалунов, М.В. Хмелёв, С.С. Хмелев, Д.В. Генне, Р.В. Барсуков, А.В. Шалунова // Ползуновский вестник. – 2013. – №3. – С.315-320.
5. Хмелев, В.Н. Ультразвуковое распыление жидкостей [Текст] / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, А.В. Шалунова; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 272 с.
6. Пажи, Д.Г. Распылители жидкостей [Текст] / Д.Г. Пажи, В.С. Галустов. – М.: Химия, 1979. – 216 с.

Хмелёв Владимир Николаевич – д.т.н., профессор, зам. директора по научной работе, Бийский технологический институт, (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854) 432581, e-mail: ynh@bti.secna.ru;

Шалунов Андрей Викторович – к.т.н., доцент, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854) 432570, e-mail: shalunov@bti.secna.ru.

Нестеров Виктор Александрович – инженер, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854) 432570, e-mail: nva@bti.secna.ru.

Абраменко Денис Сергеевич – к.т.н., доцент, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854) 432470, e-mail: ades@bti.secna.ru.

Генне Дмитрий Владимирович – ведущий инженер, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854) 432470, e-mail: gdv@bti.secna.ru.

Доровских Роман Сергеевич – аспирант, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854) 432570, e-mail: dorovskih_roman@mail.ru.