

# СИСТЕМЫ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ В ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

НИКИТА ДВОРЕЦКИЙ  
nikita.dvorecky@vitec.ru

Фармацевтическая промышленность — одна из тех отраслей, где контроль качества особенно актуален. Целесообразность и размер затрат на автоматизированные системы контроля качества продукции определяются двумя основными факторами: ценой ошибки выявления дефекта, а также массовостью производства и широким применением автоматизированных линий. При выпуске лекарств одновременно присутствуют оба, то есть о необходимости использования современных технологий вопрос не стоит — только автоматизированные системы визуального контроля позволяют осуществлять контроль качества продукции непрерывно, достоверно и с высокой скоростью.

## ЗАДАЧИ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ В ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Как и в любом производстве, системы контроля могут быть разделены на три основные группы контроля:

- маркировки;
- качества продукта;
- упаковки.

Каждая группа решает свои задачи, что накладывает отпечаток на используемые технологии и подходы при сохранении общих принципов. Рассмотрим их подробнее.

### Маркировка

Отслеживаемость продукции на всех этапах ее жизненного цикла, от начальных стадий изготовления до продажи, — важнейший элемент любого современного производства. Для лекарственных препаратов и форм, помимо прочего, это и жесткое требование государственного регулирования. Комплексы машинного зрения решают следующие задачи:

- считывание и контроль различных графических кодов (QR, DataMatrix, Pharmacode и т. д.);
- верификация символической маркировки (номер серии, срок годности, тип препарата и т. д.);
- контроль качества печати, соответствие этикетки, упаковки и инструкции по эксплуатации типу текущего препарата;
- источник базовой информации для информационных систем сопровождения производства: отслежи-

вание перемещения препаратов в ходе производства (Track and Trace, системы агрегации, сериализации и др.).

### Качество продукта

Конечный потребитель большинства препаратов — человек. Поэтому, помимо лабораторных методов анализа субстанций, важным элементом контроля качества является визуальный контроль продукта. Разнообразие форм предполагает большое количество методов контроля. Мы упомянем лишь самые очевидные из них:

- отсутствие посторонних включений в растворах (ворс, частицы, мутность и т. д.);
- форма и состояние поверхности таблеток и капсул;
- целостность ампул, флаконов (разрушение, трещины, сколы, царапины и т. д.).

### Фасовка, упаковка

Большие объемы производства и разнообразие препаратов диктуют необходимость применения современных автоматизированных производственных линий, на которых не обойтись без соответствующих им по скорости систем контроля процесса. В частности, контролю могут подвергаться следующие этапы производственного процесса:

- уровень наполнения флаконов, ампул;
- комплектность упаковки препаратов в блистере;

- наличие всех элементов и качество упаковки/укупорки (крышка, фиксирующее кольцо и т. д.);
- целостность упаковки (заматия, искажения геометрии, лишние элементы и т. д.).

## ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ

### Эволюция систем визуального контроля

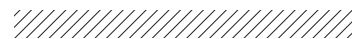
По мере роста производительности и сложности продукта совершенствуются и методы контроля. Можно выделить три основные группы устройств:

- оптический датчик на базе LED или лазера;
- видеодатчик;
- система машинного зрения и смарт-камера.

Рассмотрим классическую задачу контроля качества укупорки навинчивающейся крышкой флаконов с жидкостью.

Самое простое решение — установка оптического датчика, с отражателем или без, для контроля высоты флакона. Если крышка не докручена, высота флакона больше номинальной и при проверке такого продукта датчик выдаст сигнал на отбраковку. Недостатки данного решения очевидны: если крышки нет вовсе, продукт будет признан годным. Оптические датчики выпускают практически все производители базовой автоматки. Наиболее популярны в нашей стране устройства компаний Sick, Omron.

Второй уровень решения — установка видеодатчика. Это более



сложное устройство, имеющее в своем составе все базовые элементы системы машинного зрения: камеру, вычислитель, оптику, подсветку. Теперь на основании полученного изображения мы можем оценить наличие крышки, ее положение, иногда форму — словом, решение о дефектации принимается на основе оценки гораздо большего количества параметров и будет более достоверным. Однако стоимость такого датчика существенно выше, а настройка требует определенных навыков. Тем не менее видеодатчики получают все большее распространение благодаря разумному соотношению цены и функциональности в реализации стандартных задач. Популярные производители подобных устройств — Sick, Omron, Cognex и другие компании.

Наконец, самое универсальное и многофункциональное решение — системы на базе машинного зрения и смарт-камеры, как одна из разновидностей. Остановимся на них подробнее.

К особенностям этого уровня устройств относится гибкость в выборе отдельных компонентов и мощность программирования или конфигурирования задач визуального контроля. Любая из этих систем содержит уже упомянутые базовые элементы: камеру, оптику, свет, вычислитель и систему программирования/конфигурирования. Есть различия в возможности выбора и конструктивном исполнении. Прежде всего, необходимо выделить класс устройств «все-в-одном» — смарт-камеры.

### Смарт-камеры

Все компоненты располагаются в компактном, часто защищенном корпусе, что в значительной степени облегчает монтаж такого устройства на производственной линии.

Преимущества смарт-камеры:

- компактность (камера, свет и компьютер в одном корпусе);
  - удобное средство создания (конфигурации) программного обеспечения;
  - низкая стоимость.
- Недостатки:
- небольшие возможности выбора типа матрицы/камеры, подсветки, оптики;

- ограниченная вычислительная мощность встроенного процессора;
- невозможность создания многокамерных систем;
- устаревшие технологии (камеры, вычислители).

Следует обратить внимание, что компактность и относительно невысокая стоимость смарт-камеры являются результатом использования не самых современных камер и процессоров, стандартного набора объективов и вариантов подсветки. Однако при выполнении несложных, стандартных задач, когда решение воплощается силами сотрудников предприятия, применение смарт-камер может быть оправданно. Но технологические и конструктивные ограничения затрудняют, а в ряде случаев делают невозможной реализацию на смарт-камерах эффективных современных технологий и алгоритмов.

### Системы машинного зрения

Этих недостатков лишены системы машинного зрения, построенные из дискретных компонентов (рис. 1). То есть камера или несколько камер, оптика, подсветка, часто несколько ее вариантов, вычислитель подбираются оптимальным образом, исходя из требований конкретной задачи и наилучшего технического решения, основанного на последних технологиях. Очевидно, что достоверность и надежность системы визуального контроля обусловлены качеством получаемых изображений. Поэтому оптимальный выбор всех компонентов подсистемы захвата изображения — критически важная составляющая создания эффективной системы контроля.

Подбор оптимальной конфигурации оптики (телецентрическая, вариофокальная, макро-, обычная) и освещения (форма осветителя, спектр излучения, использование оптики), выбор камеры с наиболее подходящими характеристиками, одновременное использование нескольких камер (необходимость связать информацию с нескольких камер с одним объектом), оптимальный выбор вычислительной платформы (по производительности, требуемым функциям, набору интерфейсов), индивидуальный подбор алгоритмов, интеграция в существующее производство и т. д. позволяют в значительной мере улучшить итоговые характеристики системы, решать самые сложные задачи визуального контроля качества выпускаемой продукции.

Это требует основательных знаний в области машинного зрения, но при грамотном подходе позволяет избежать увеличения стоимости создания и внедрения системы при достижении максимально возможной эффективности ее эксплуатации.

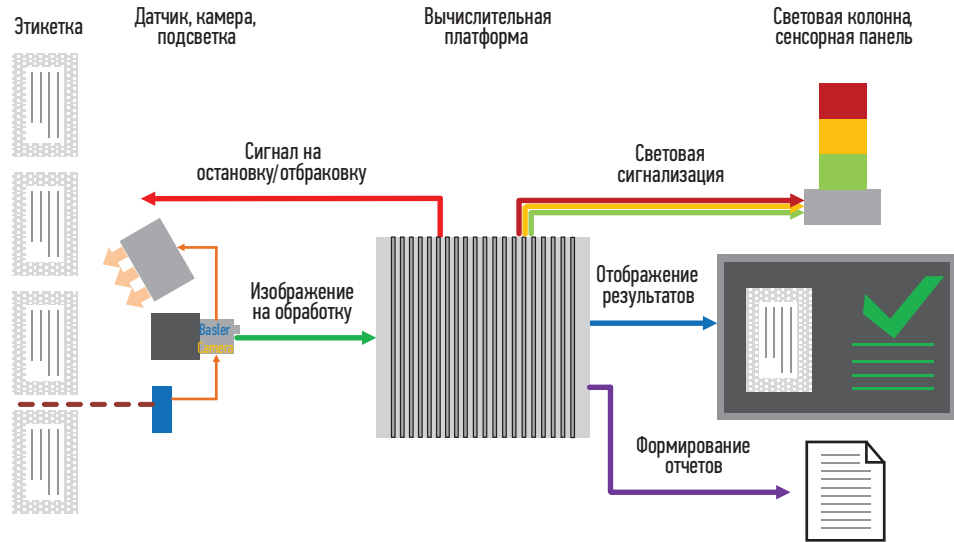
Преимущества:

- оптимальный подбор компонентов с учетом специфики конкретной задачи;
- использование самых современных компонентов с лучшим соотношением цена/производительность;
- комплексный подход: решение одной системой нескольких задач. Визуальный контроль большого количества параметров, многокамерные системы и др.;
- интеграция в информационную систему предприятия, накопление и анализ данных (сохранение информации о браке, формирование детальных отчетов, выявление закономерностей и причин появления брака);



**РИС. 1.** ◀  
Основа системы машинного зрения — правильно подобранная камера, оптика и освещение

**РИС. 2.** ▶ Структурная схема системы машинного зрения



- возможность замены/обновления отдельных компонентов и расширения функционала (при необходимости можно заменить или добавить камеру, повысить производительность).

Недостатки:

- необходимость знания технологий машинного зрения;
- время на индивидуальный подбор компонентов;
- избыточность для решения простых задач.

**ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЙ**

Рассмотрим некоторые из примеров систем машинного зрения различной конфигурации, применяемых на фармацевтических предприятиях.

**Контроль соответствия продукта и инструкции**

Система выполняет контроль соответствия продукта, инструкции и упаковки к препарату, сканируя и сопоставляя значения фармкодов с эталонным значением. Система основывается на нескольких сканерах Sick, промышленном компьютере и устройстве ввода/вывода сигналов. При обнаружении несоответствия система выдает сигнал на остановку производственной линии.

Такая система является примером базовой системы машинного зрения.

**Контроль качества печати и маркировки**

Достаточно распространенная задача — выявление и отбраковка продукции с дефектами постоян-

ной (выполненной в типографии) и переменной печати (нанесенной промышленным принтером).

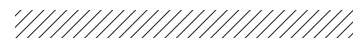
Система может выявлять следующие виды дефектов:

- повреждение элементов постоянной и переменной печати (непропечатка, царапина, обрыв, блеклость, искажение и т. д.);
- наличие посторонних элементов на этикетке (пятна, кляксы, смазанные части и т. д.);
- отсутствие или несоответствие постоянной печати текущему типу продукта;
- отсутствие и несоответствие нанесенной переменной печати (выход за область печати, отличие считанного и эталонного значения);
- несоответствие элементов переменной печати заданному эталону (несоответствие шрифта, размера);
- нечитаемость или неверное значение двумерного или одномерного кода;
- нарушение позиционирования этикетки на продукте (угол, положение).

Камера получает сигнал от датчика, установленного на линии, начинается захват кадра, синхронно выдавая триггер на импульсную подсветку. При этом объектом контроля может быть как этикетка (до или после этапа этикетирования), так и упаковка препарата. После захвата изображение передается на вычислительную платформу для дальнейшей обработки (рис. 2).

**РИС. 3.** ▶ Пример интерфейса системы машинного зрения





Компьютер получает изображение, выполняет необходимый перечень алгоритмов и исходя из полученного результата выдает дискретный сигнал во внешнюю систему, где он может использоваться как для отбраковки объекта контроля, так и для остановки производственного конвейера. При этом результаты проверок отображаются на дисплее оператора и сохраняются в базе данных системы. Пользователь конфигурирует и контролирует систему при помощи промышленной сенсорной панели.

Помимо функции контроля качества печати этикетки и маркировки, подобная система может стать основой для системы агрегации и сериализации и выполнять контроль каждой упаковки перед ее помещением в общий короб (рис. 3).

### Контроль укладки ампул в блистер

Задача — инспектирование ампул на отсутствие дефектов при укладке в блистерную упаковку (рис. 4). Структурно система соответствует схеме, представленной на рис. 2, но имеет в составе фоновую подсветку.

Система выполняет следующие функции:

- обнаружение отсутствия ампулы в упаковке;
- обнаружение поврежденных или разрушенных ампул;
- обнаружение отсутствия, повреждения или неправильного нанесения этикетки на ампулы;
- подсчет общего количества выпускаемых ампул.

При обнаружении брака система выдает сигнал на сброс упаковки ампул.

Ключевыми особенностями данной системы являются фоновая подсветка, оптическая система и специально разработанный набор алгоритмов, обеспечивающих контроль целостности ампул (рис. 5).

### Контроль сборки пробирок

Еще один хороший пример системы машинного зрения — система контроля сборки пробирки для забора крови (рис. 6).

Система выполняет следующие функции:

- контроль геометрии и габаритов пробирки;
- контроль геометрии и габаритов капилляра;

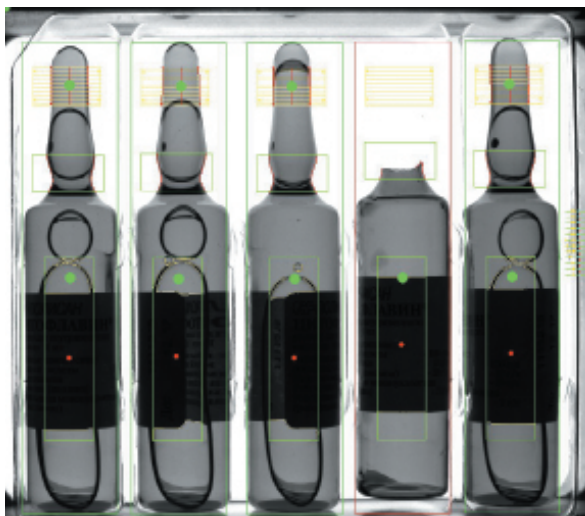


РИС. 4. ◀ Анализ ампул в блистере на наличие дефектов

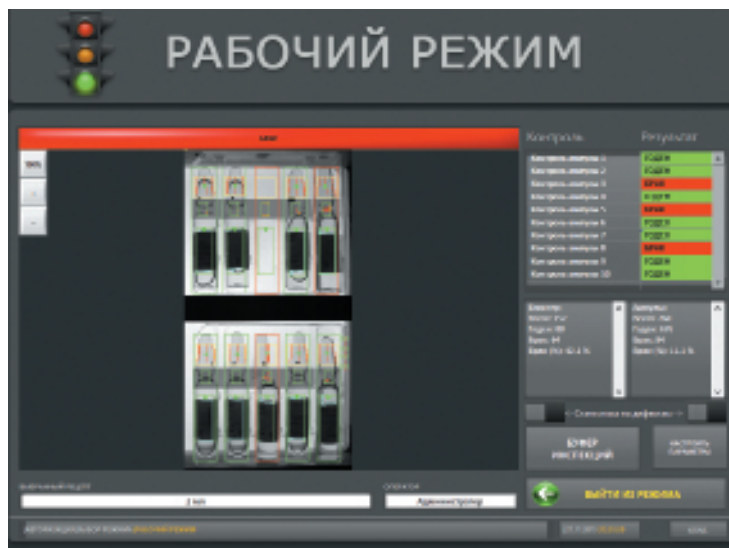


РИС. 5. ◀ Интерфейс системы контроля ампул



РИС. 6. ◀ Система контроля сборки пробирки

**РИС. 7. ▶**  
Промышленные  
безвентиляторные  
компьютеры — залог  
надежной работы



- контроль наличия напыления антикоагулянта.

Для получения информации о наличии напыления антикоагулянта используется специализированная светодиодная подсветка, которая позволяет выделить взвесь препарата на внутренней поверхности пробирки и капилляра.

Внедрение системы обеспечило не только контроль каждой выпускаемой пробирки, но и повышение эффективности производства, поскольку автоматическая отбраковка дефектной продукции предотвращает возникновение различных аварий и заторов на конвейерной линии.

### УСТРОЙСТВО СИСТЕМЫ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

Система визуального контроля должна обладать высокой производительностью и надежностью, поскольку требуется контроль каждого объекта. Зачастую только за одну смену на производственной линии может выпускаться несколько сотен тысяч препаратов. Для обеспечения таких требований очень важен набор используемых компонентов.

#### Камера, оптика, подсветка

В основе любой системы машинного зрения, конечно же, лежит оптическая подсистема, состоящая из промышленной цифровой камеры, высококачественной оптики и мощного импульсного источника освещения.

К камере предъявляются следующие требования: высокая чувствительность, широкий динамический диапазон, низкий уровень шума, возможность работы на коротких выдержках и т. д. Конфигурация камеры всегда должна соответствовать

конкретной задаче: разрешение, размер матрицы, чувствительность в отдельных участках спектра — все это необходимо учитывать при выборе.

Но выбор камеры — лишь половина дела, важно, чтобы камере соответствовала и используемая оптика, поскольку неправильно подобранный объектив может свести на нет все преимущества хорошей камеры. Должны учитываться такие факторы, как размер пикселя камеры и разрешение объектива, размер матрицы камеры и световое пятно объектива, светосила объектива, подходящее рабочее расстояние и т. д.

Подсветка также должна отвечать ряду требований, например обеспечивать интенсивное, стабильное, повторяемое освещение рабочей области, синхронную работу с камерой, низкий уровень тепловыделения и многое другое. Существует большое количество типов подсветок: линейные, кольцевые, коаксиальные, купольные, фоновые и т. д. Тип подсветки, ее спектр излучения выбирают для каждой задачи индивидуально.

Очень часто, чтобы подобрать правильную оптическую систему для решения какой-либо нестандартной задачи, приходится экспериментально перебрать достаточно большое количество вариантов, особенно это касается выбора подсветки и ее расположения относительно камеры.

#### Вычислительная платформа

После того как качественное изображение получено, оно передается на вычислительную платформу для обработки, выделения необходимых признаков и извлечения информации. Вычислительная платформа также должна отвечать высоким

требованиям — обладать достаточной производительностью для своевременной обработки и выдачи результата, достаточным количеством и скоростью интерфейсов, способностью непрерывной работы при высокой нагрузке. Крайне важным аспектом для промышленной системы является пассивное безвентиляторное охлаждение компьютера (рис. 7).

#### Программное обеспечение

Обработку изображения, извлечение, отображение, сохранение необходимой информации, формирование отчетов осуществляет программное обеспечение. Помимо решения основной задачи по инспектированию объектов контроля, программное обеспечение должно обладать еще рядом функций:

- авторизация пользователей и разграничение по уровням доступа;
- удобный графический интерфейс, информативно представляющий все получаемые данные и позволяющий оператору оперативно взаимодействовать с системой (рабочий режим, режим настройки);
- сохранение результатов, структурированная база данных и инструменты для обработки сохраненной информации (режим архива, функции фильтрации и экспорта, например генерация подробных PDF-отчетов о проведенных инспекциях);
- подробная фиксация системных событий и регистрация действий пользователя (информация о запуске/остановке контроля, изменении параметров и т. д., что особенно важно в условиях фармацевтического производства).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фармацевтическая промышленность — та сфера, где требуется постоянный объективный контроль за качеством выпускаемой продукции, причем не выборочной партии, а каждой единицы производимого продукта. Системы машинного зрения различной сложности позволяют решать столь непростые задачи. Важно в каждом отдельном приложении тщательно подходить к проектированию системы и подбирать ее компоненты, учитывая особенности продукции, нюансы каждой производственной линии, а также специфику производства. ●