



Кирилл ТОЛМАЧЕВ  
ООО «Концепт Лоджик»,  
генеральный директор, к.т.н.

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СОРТИРОВКИ НА СКЛАДЕ

**АННОТАЦИЯ.** В статье рассмотрен вопрос рационального выбора количества стволов сортировщика и алгоритмов сортировки для различного соотношения между количеством стволов и признаков (критериев) сортировки.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** Автоматизированная сортировка, сортировщик, сортировочная система, автоматизированный склад.

**ANNOTATION.** The article deals with the question of rational choice and the number of barrels sorter sorting algorithms for different ratio between the number of trunks and criteria sorting.

**KEY WORDS.** Automated sorting, sorter, sorting system, automated warehouse.

## ВВЕДЕНИЕ

Системы автоматизированной сортировки (сортировщики) получили широкое распространение на складах зарубежных компаний и сейчас в связи с ростом объема экспресс-перевозок и расширением сегмента Интернет-торговли начинают осваиваться и российскими компаниями. Технологическая эффективность решений ручной и автоматизированной технологий сортировки и кросс-докинга представлена в статьях [1, 2], логистические критерии перехода к сортировочным системам показаны в [3].

Практика выбора сортировочной системы в российских условиях сводится к передаче исходных данных о сортируемом товаре (грузе) от заказчика к поставщику, который выдает основные характеристики сортировщика: скорость движения товара, количество стволов входа и выхода на сортировщик. Расчетная проверка характеристики сортировщика силами персонала компании, с одной стороны, затруднительна, поскольку необходимо использовать сложные модели и высококвалифицированных аналитиков. С другой стороны, динамика бизнеса вносит изменения и в структуру товаропотока, и в количество обслуживаемых клиентов или заказов, что сложно учесть на этапе выбора принципиальной схемы сортировщика. Примеры управления по целям сортировки для ускорения операций сортировки даны в статьях [4, 5], общий расчет конвейерных систем, но без описания алгоритмов сортировки детально показан [6]. Вопрос назна-

чения целей сортировки тесно связан с применяемым алгоритмом сортировки, анализ, выбор и применимость которых подробно освещена в специализированной литературе [7–10].

В данной статье рассмотрен вопрос рационального выбора количества стволов сортировщика и алгоритмов сортировки для различного соотношения между количеством стволов и признаков (критериев) сортировки.

## ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ СОРТИРОВЩИКОВ

На практике в основном используются две схемы сортировочных систем:

1. Замкнутая, или кольцевая (рис. 1).
2. Разомкнутая (рис. 2).

Обе схемы сортировщиков имеют одинаковый принцип работы: груз или товар, имеющий этикетки штрихкода или метки RFID, поступает к стволам входа и вручну оператором (или автоматически дозатором) подается на сортировщик (рис. 1, 2). Идентификация товара в системе сортировщика обеспечивается считыванием штрихкода и прохождением товара через 3D-сканер и встроенные весы. Далее, если единица товара идентифицирована, она доставляется лентой или лотком сортировщика до ствола назначения, куда и перемещается. Неидентифицированный товар или товар с несогласованными характеристиками, превышающими допустимые для сортировщика, подается в ствол ошибок для дальнейшей работы.

Отличие между кольцевой и незамкнутой схемами сортировщика состоит в том, что в незамкнутой схеме весь поступающий на сортировщик грузопоток должен быть отсортирован за один проход, тогда как в кольцевой схеме груз может сделать несколько оборотов. Например, если по каким-либо причинам ствол назначения в незамкнутом сортировщике переполнен, груз будет следовать до ствола ошибки, куда и будет принудительно перемещен. В случае кольцевой схемы сортировщика такой груз будет отправлен системой на новый круг, и далее до тех пор, пока ствол не сможет принять груз.

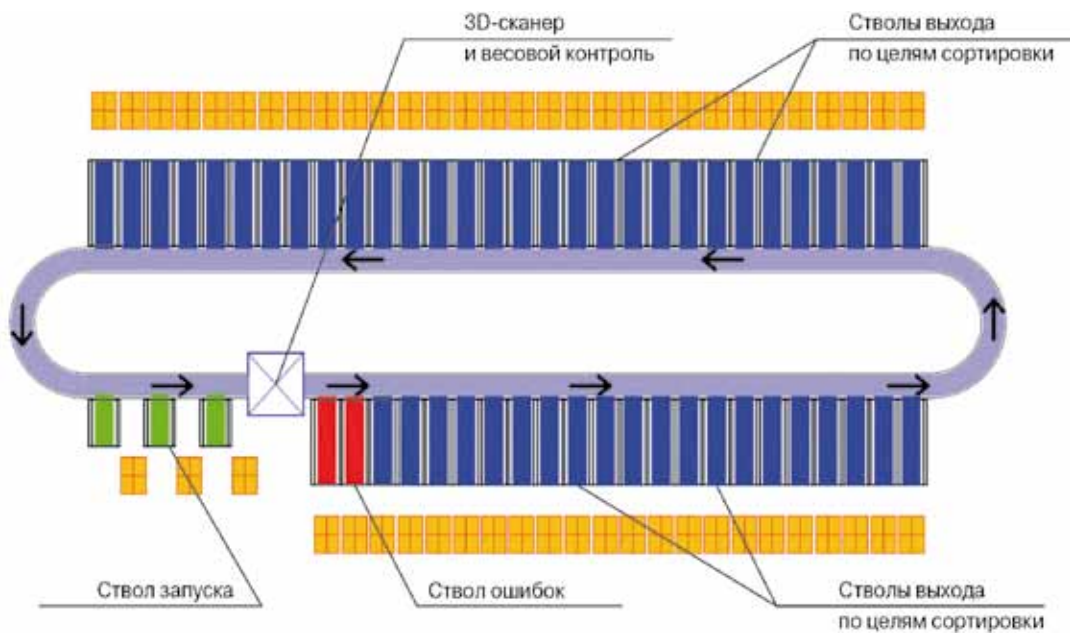
Итак, основным принципиальным отличием схем является возможность нахождения груза в кольцевой системе сортировки сколь угодно долго, в то время как незамкнутая система произведет сортировку или перенаправление в ствол ошибок в течение одного «проезда» груза по сортировщику.

## АЛГОРИТМЫ СОРТИРОВКИ

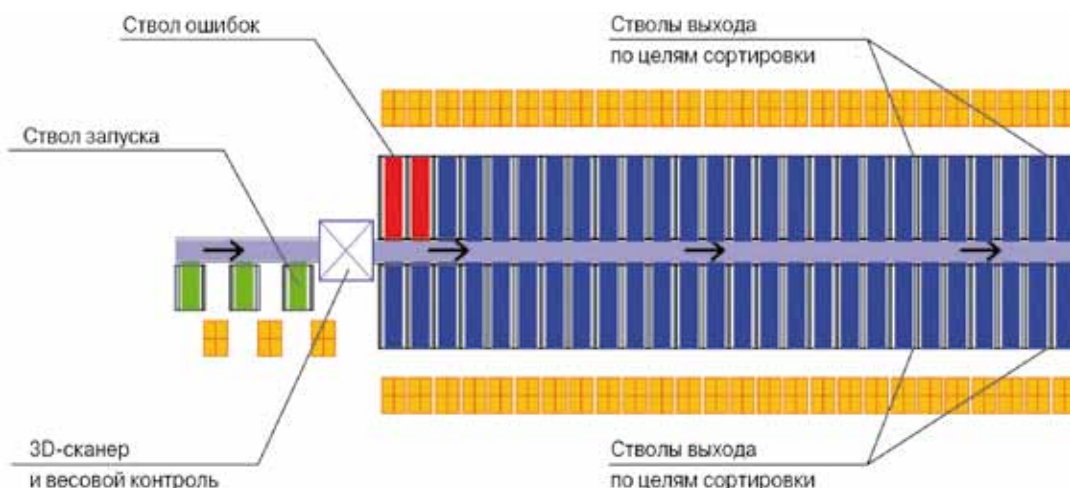
Практика показывает, что сортировщики отлично вписываются в технологии коробочного подбора и распределения и позволяют автоматизировать выборку товара или груза по одному признаку (простая сортировка), по двум и более признакам (сложная сортировка).

Простой сортировкой, например, является распределение товара при приемке только по артикулу, а сложной — и по артикулу, и по клиенту. Пример целевых признаков для сложной сортировки показан в таблице 1.

Оптимальное количество стволов сортировщика для случая простой сортировки должно быть не меньше количества целей сортировки плюс 1–2 ствола ошибки. В этом случае сортировка производится за один цикл подачи всего подлежащего сортировке товара/груза. Такая конфигурация сортировщика наиболее производительна и проста для управления потоками,



←  
Рисунок 1  
Замкнутая (кольцевая)  
схема сортировщика



←  
Рисунок 2  
Незамкнутая схема  
сортировщика



Таблица 1

## ПРИЗНАКИ СЛОЖНОЙ СОРТИРОВКИ

Признак сортировки	Дистрибуция	Грузообработка
1	Региональный филиал	Маршрутное направление
2	Транспортное средство	Рейс/маршрут
3	Клиент	№ вагона/контейнера/авиапаллеты
4	Заказ	№ грузовой транспортной накладной
5	Артикул	№ домашней накладной

Таблица 2

## КРИТЕРИИ СОРТИРОВКИ

№	Критерий (цель) сортировки	Количество целей сортировки
1	Маршрутное направление	15
2	Рейс/маршрут	2
3	№ вагона/контейнера/авиапаллеты	3
4	№ грузовой транспортной накладной	20
5	№ домашней накладной	3

Таблица 3

## ОБЪЕДИНЕНИЕ ПРИЗНАКОВ СОРТИРОВКИ ПОПАРНО

Цели сортировки	Количество целей сортировки	Количество стволов для сортировки по двум признакам
Маршрутное направление	15	30
Рейс/маршрут	2	
Рейс/маршрут	2	6
№ вагона/контейнера/авиапаллеты	3	60
№ вагона/контейнера/авиапаллеты	3	
№ грузовой транспортной накладной	20	60
№ грузовой транспортной накладной	20	
№ домашней накладной	3	60

и именно к ней стремятся поставщики сортировочных систем.

Однако, как показывает практика, часто количество целей сортировки превышает физическую возможность размещения стволов сортировки на складе или увеличение количества стволов дает резкое нарастание стоимости самого сортировщика.

Определим количество стволов для случая сортировки груза по 15 направлениям, причем для каждого из них используются два маршрута (табл. 2).

Для реализации простой сортировки количество стволов равно произведению количества целей, т.е. в нашем случае:

$$\text{Количество стволов} = 15 \times 2 \times 3 \times 20 \times 3 = 5400 \text{ ед.}$$

Скорее всего, изготовление сортировщика с таким количеством стволов нецелесообразно.

Сократить количество стволов можно за счет проведения многоэтапной сортировки. Для нашего примера это выглядит так.

Сначала груз сортируем по маршрутным направлениям, их 15, следовательно, нам потребуется 15 стволов, затем каждое маршрутное отправление сортируем по рейсам — потребуется 2 ствола, далее грузы каждого рейса распределяем по вагонам — будет задействовано 3 ствола, затем сортируем по критерию «номер накладной» — потребность в 20 стволов, и на последнем шаге, по домашним накладным — всего 3 ствола.

Таким образом, максимальная потребность в стволах сортировки составила 20 единиц, а общее количество циклов сортировки (полных оборотов сортировщика) — 5400.

Для приближенного определения рационального количества стволов многоэтапной сортировки необходимо рассчитать количество стволов, необходимых для сортировки по двум или более признакам за один цикл сортировщика (табл. 3).

Как видно, наиболее характерным числом стволов для сортировки по двум признакам за один цикл является 60, что обеспечивает сортировку следующим образом.

Таким образом, для полной сортировки груза по всем признакам потребуется 93 такта работы сортировщика и 60 стволов (табл. 4).

Соответственно, проводя, балансировку системы по пропускной способности через количество тактов и по стоимости через количество стволов можно получить оптимальное решение для заданного склада и данного грузопотока.

Далее будут представлены некоторые алгоритмы сортировки, встречающиеся в практике Интернет-магазинов и дистрибуторов.

Одним из требований магазинов и/или клиентов дистрибуторских компаний является условие нахождения в коробе моноартикулярного и/или монобрендового товара. Таким образом, если требуется сортировка по магазину/клиенту, а внутри магазина/клиента — по бренду, используем следующий алгоритм:

1. Товар, который следует отсортировать по магазинам и артикулам, подается на вход сортировщика.
2. За каждым стволом сортировщика (или несколькими стволами, если позволяет количество) закрепляется магазин.
3. Сортировщик выбрасывает последовательно упаковки с товаром одного артикула в ствол, закрепленный за магазином.
4. Оператор ствола упаковывает единицы товара в сборный короб (overpack).

**Е**сли количество стволов сортировки меньше количества магазинов, количество тактов сортировщика будет равно частному от деления количества магазинов на количество стволов, округленному до большего целого значения.

В тех случаях, когда размеры артикулов не позволяют использовать сборный короб, можно применять алгоритм двойной сортировки (рис. 3):

Таблица 4

**АЛГОРИТМ СОРТИРОВКИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ИЗ 60 СТВОЛОВ**

Этап	Признак сортировки	Что подается на сортировщик	Количество тактов сортировщика	Результат
1	Маршрутное направление + рейс	Весь груз	1	Груз, отсортирован по направлениям и рейсам
2	Вагон	Отсортированный груз, рейс двумя квантами по 20+10 рейсов или 15+15	2	Груз, отсортирован по вагонам
	Грузовая накладная + домашняя накладная	Отсортированный груз, отсортированный по вагонам	90	Груз отсортирован по всем признакам

1. Упаковки с товаром поступают на сортировщик.
2. За каждым стволом сортировщика закрепляется магазин.
3. Проводим сортировку по принципу «все артикулы для одного магазина в произвольном порядке направляются в ствол магазина». Получаем смешанную (микс) партию магазина. Микс-партия укладывается в сетчатый контейнер, на который вешается бирка магазина.
4. После завершения микс-сортировки по магазинам переназначаем стволы сортировщика по принципу «один ствол — один артикул». Подаем на вход сортировщика микс-партию магазина.
5. Сортировщик выполняет досортировку партии магазина по принципу «один ствол — один артикул». Если количество стволлов больше количества артикулов в одном магазине, сортировка на этом шаге проходит в один оборот.

Данный алгоритм интересен для операций подбора (picking). Он позволяет провести циклы досортировки по артикулам после прохождения всех волн отбора для магазинов. Количество одновременно сортируемых магазинов по артикулам определяется суммой артикулов, которая должна быть меньше количества стволлов.

Например, сортировщик имеет 40 стволлов, а в задании на сортировку — 6 магазинов с суммарным количеством артикулов 38 единиц. Это означает, что на цикле подсортировки моноартикулярная сортировка будет выполнена за один цикл сортировщика для всех 6 магазинов.

**ВОЛНОВОЙ ОТБОР И АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СОРТИРОВКА**

При необходимости выполнения волнового отбора необходимо стремиться так организовывать волны, чтобы каждая волна имела уникальные по отношению к другим волнам цели сортировки. Например, волны, группирующие артикулы для разных магазинов или заказы для разных клиентов, удовлетворяют этому требованию. Волна является не чем иным, как переносом операции сортировки по магазинам в зону пикинга.

Следует отметить, если на пикинге используется ручной труд, количество волн с повторяющимися артикулами должно сокращаться и, если это возможно, сводиться к одной общей волне, которая затем подается на сортировку. Стратегия основана на том, что наибольшая скорость и производительность пикинга достигаются при отборе товара в одной волне, что увеличивает производительность в 1,7–2,2 раза, или на 146–190 единиц на человека в час по сравнению со стандартным отбором, а скорость сортировки варьирует от 2000 до 12 000 единиц товара в час. Таким образом, перенос операций сортировки через волновой набор в зону пикинга обоснован только в следующих случаях, когда:

- каждая волна имеет независимые от другой волны артикулы (что маловероятно);
- производительность пикинга выше производительности сортировщика (что тоже маловероятно).

**ПРИНЦИП НАЗНАЧЕНИЯ СТВОЛОВ СОРТИРОВКИ ПО ЦЕЛЯМ**

Время сортировки зависит от времени нахождения товара в системе сортировщика. Это время складывается из времени движения до ствола и количества тактов ожидания до ствола, если он занят или не назначен. Таким образом, минимизация времени сортировки будет достигаться при выполнении следующих условий:

1. Ствол ошибки — это первый ствол после ствола запуска товара на сортировщик.
2. Стволы назначаются в порядке убывания количества товара, которое должно в них попасть, т.е. первым за стволом ошибок дол-



← Рисунок 3  
Распределение стволлов сортировки



жен быть ствол с максимальным количеством единиц товара и т.д.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Принципиальная схема сортировщика, замкнутая или разомкнутая, должна выбираться из прогноза динамики количества признаков сортировки. Незамкнутая система эффективна, если количество стволов больше количества признаков сортировки и сортировка выполняется в один такт. Замкнутая система сортировки позволяет оптимизировать стоимость и занимаемую сортировщиком площадь склада за счет вариации количества стволов и количества тактов сортировки.
2. Количество стволов определяется количеством и сочетанием признаков сортировки. Количество стволов рассчитывают путем группового сравнения количества целей сортировки.
3. В цикле «волновой отбор с последующей автоматической сортировкой» следует стремиться к сокращению количества волн с большой повторяемостью артикулов в каждой волне. Наименьшее время сортировки обеспечивает отбор в одну волну.
4. Назначение стволов по признакам сортировки следует проводить по признаку убывания сортируемого товара в стволах. Ствол с максимальным количеством единиц товара должен следовать сразу за стволом ошибок или за стволом подачи товара на сортировщик. Это обеспечивает наименьшее время сортировки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Бабаев А., Фетисова Т. Технологическая эффективность кросс-докинга // *Логистика и управление*. — 2008. — № 9.
2. Толмачев К.С. Ключевые показатели работы (KPI) складского комплекса // *Складские технологии*. — 2008. — № 2.
3. Иванов А.И., Толмачев К.С. Логистические критерии перехода от ручной сортировки товара к автоматизированной // *Логистика*. — 2013. — № 9.
4. Санкин В. Автоматическая сортировка груза на складе при помощи конвейерной техники // *Склад и техника*. — 2006. — № 10.
5. Paredas С.Д. Цели автоматизации процессов сортировки и транспортировки грузов на складе // *Логистика*. — 2013. — № 12.
6. Волков Р.А., Гнутов В.К., Зенков Р.Л. Конвейеры: Справочник / Под ред. Ю.А. Пертена. — Л.: Машиностроение, 1984.
7. Седжвик Р. Алгоритмы на С++. — Изд-во Вильямс, 2013. — 1056 с.
8. Кормен Т.Х. Алгоритмы. Вводный курс Томаса Х. Кормена. — Изд-во Вильямс, 2013. — 208 с.
9. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. Т. 3. Сортировка и поиск. — М.: Мир, 1978.
10. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ. — М.: МЦНМО, 1999.

