

СХЕМЫ И АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКИ НА СКЛАДЕ: РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР КОЛИЧЕСТВА КАНАЛОВ СОРТИРОВЩИКА

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

Александр Волочков,
ведущий консультант-аналитик
ООО «Концепт Лоджик»

Аннотация. В статье определяются удельная стоимость сортировки и оптимальное количество каналов для следующих алгоритмов товарной сортировки: одноэтапная сортировка, непрерывная подача на конвейер из приемки; многоэтапная с непрерывной подачей на конвейер из приемки; многоэтапная с периодической подачей на конвейер из приемки; многоэтапная со сложной сортировкой; двухэтапная с предварительной сортировкой. Показана зависимость суточной пропускной способности сортировщика от количества каналов. Анализ совокупных удельных затрат при сортировке по 300 целям показал, что минимальные удельные затраты обеспечивает схема с предварительной сортировкой.

Ключевые слова. Сортировка товара на складе, сортировщик, каналы сортировки, схема сортировки, алгоритм сортировки товара, стоимость операций сортировки, стоимость сортировочной системы, фулфилмент.

Annotation. The article determines the specific cost of sorting and the optimal number of sorting channels for the following commodity sorting algorithms: one-stage with, continuous feed to the conveyor from the reception; multi-stage with continuous supply to the conveyor from the receiving station; multi-stage with periodic feeding to the conveyor from the acceptance; multi-stage with complex sorting; two-stage with pre-sorting. The dependence of the daily capacity of the sorter on the number of channels is shown. The analysis of the total unit costs for sorting by 300 goals showed that the minimum unit costs are provided by the pre-sorting scheme.

KEY WORDS. Sorting goods in a warehouse, sorter, sorting channels, sorting scheme, sorting algorithm, cost of sorting operations, cost of sorting system, fulfillment.

Стремительный рост рынка интернет-торговли и связанный с ним фулфилмент за последние годы привел его участников к необходимости обработки быстро растущих товарных потоков. Для многих интернет-магазинов и обслуживающих их логистических операторов в России количество направлений и объем отгрузки всего за год увеличивались в 2 раза и более, и этот тренд сохранялся несколько лет подряд. Одновременно рыночная

конкуренция постоянно требует от бизнеса сокращать время обработки и доставки заказов. В такой ситуации экстенсивные решения по увеличению пропускной способности действующих распределительных центров и терминалов, заключающиеся в простом увеличении площади и персонала склада, оказываются либо технически невозможными из-за нехватки складских площадей, либо экономически неэффективными из-за низкой про-

изводительности ручного труда. Проблему решает качественно новая технология обработки товаров и грузов – автоматизированная сортировка с помощью конвейерно-сортировочных систем, которые при определенных условиях позволяют значительно увеличить пропускную способность склада и снизить удельные затраты на сортировку [1].

В общем случае перед складом или терминалом ставится задача сор-

тировки товарного или грузового потока на различные группы. Конечные группы сортировки могут формироваться по одному признаку или критерию, например пункт доставки или магазин, или по нескольким, например город, грузополучатель и тариф доставки – «экспресс» или «эконом». В дальнейшем признаки или их сочетания, соответствующие конечным группам сортировки, мы будем называть целями сортировки. В первом случае сортировка называется простой, и количество целей сортировки совпадает с количеством вариантов для единственного признака, например количество пунктов доставки или магазинов. Во втором случае сортировка называется сложной, и общее количество целей может достигать величины, равной произведению количеств вариантов по каждому признаку в отдельности, например произведение количества городов, количества грузополучателей и количества тарифов доставки.

Основными элементами автоматизированной конвейерно-сортировочной системы (далее «сортировщик») являются:

- общая конвейерная линия, на которую подаются сортируемые товары или грузы;
- автоматические считыватели идентификаторов (маркировки) груза (товара);
- устройства подачи на конвейер;
- устройства автоматического сбрасывания или съема с конвейера (трансферы), которые направляют каждую группу в отдельный канал (рукав) для последующей консолидации и упаковки;
- каналы на выходе сортировщика («выходы»).



Источник: фото из архива журнала «ЛОГИСТИКА»

Стоимость сортировщика определяется его производительностью, связанной с весом и габаритами обрабатываемого груза. При большой производительности сортировщика (до 8–12 тыс. ед./ч.) общая стоимость технологического решения находится практически в прямой зависимости от количества каналов сортировки.

При проектировании нового участка сортировки возникает **задача выбора оптимального количества каналов сортировки с учетом перспективы развития**. В этом случае исходными параметрами, как правило, являются объем и количество целей сортиров-

ки (клиенты, пункты доставки и др.), а критерий сравнения – удельные затраты на обработку.

При наличии действующего сортировщика с некоторым количеством каналов часто ставится задача **найти такую схему и алгоритм работы, при которых имеющееся оборудование может отсортировать максимальный объем с учетом роста количества целей**. Для такой задачи количество каналов системы зафиксировано, а меняются объем и количество целей сортировки (табл. 1).

Далее мы рассмотрим и сравним различные схемы и алгоритмы сортировки.

Таблица 1.

Отличия постановки задач проектирования систем сортировки

Источник: ООО «Концепт Лоджик»

Участок сортировки	Новый	Действующий
Задача	Оптимизация удельных затрат за счет выбора количества каналов	Максимизация объема или количества целей сортировки для имеющегося числа каналов
Начальные данные	Объем и количество целей сортировки	Количество каналов сортировщика
Изменяемые параметры	Количество каналов сортировщика	Количество целей или объем сортировки
Ограничения	Объем инвестиций и/или удельные затраты	Удельные затраты на сортировку

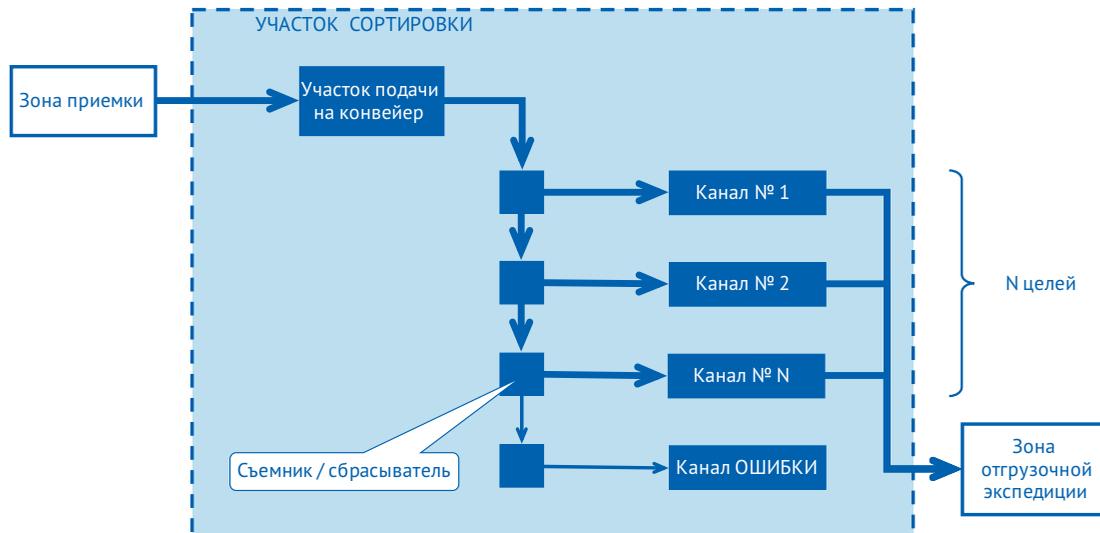


Рисунок 1. Базовая схема одноэтапной сортировки – количество каналов сортировки равно количеству целей
 Источник: ООО «Концепт Лоджик»

Базовая одноэтапная схема (непрерывная подача на конвейер из приемки). В идеальном случае количество каналов сортировщика соответствует количеству групп сортировки (целей), тогда обработка производится за один этап (рис. 1). Но когда количество целей составляет несколько сотен или даже тысяч, то высокая стоимость оборудования делает такое технологическое решение экономически нецелесообразным.

Сократить потребность в количестве каналов сортировки позволяет применение схемы многоэтапной сортировки. Ее суть заключается в том, что сначала весь объем сортировки разделяется на группы обработки по какому-то условию, учитывающему один или несколько признаков сортировки, а затем каждая из этих групп по отдельности, друг за другом, проходят сортировку по следующему условию, учитывающему один или несколько каких-то других признаков сортировки. При этом сортировка выполняется с помощью одних и тех же каналов, но на разных этапах один и тот же канал имеет разное целевое назначение. Существует несколько вариантов многоэтапной сортировки, описание и сравнение которых приведено далее.

Схема № 1А. Многоэтапная с непрерывной подачей на конвейер из приемки

Весь объем обработки непрерывно и равномерно подается из зоны приемки на участок сортировки. Предпо-

ложим, входящий поток содержит грузы для 300 магазинов (цели сортировки). Все 300 целей сортировки разделяются на три группы обработки, например по 100 штук, а рабочее время конвейера соответственно на три этапа (цикла). В течение первого этапа из входящего потока отфильтровываются и сортируются грузы для целей только первой группы. Для этого первый по очереди трансфер пропускает вперед по конвейеру только те грузы, которые относятся к первой группе обработки, а остальные грузы направляются в канал № 1 и далее в накопитель, где остаются до конца этапа (рис. 2). Следующие по конвейеру 100 трансферов (№ 2–101) выполняют сортировку товаров первой группы по 100 целям. После окончания времени первого этапа требуется технологический перерыв, в течение которого каналы освобождаются от товара и переназначаются на следующие 100 целей из второй группы (во время технологического перерыва входящий поток из приемки направляется в буфер между зоной приемки и конвейером.) Затем начинается второй этап (цикл), во время которого возобновляется подача на конвейер из приемки, а также производится подача из буфера и накопителя. Теперь по аналогии с первым этапом с помощью канала № 1 из общего потока отфильтровываются и сортируются грузы по целям только второй группы, а грузы, относящиеся к целям первой и третьей группам, направляются в накопитель. После этого в течение третьего этапа из общего потока отбираются и сорти-

руются грузы для третьей группы целей. При равномерном распределении объемов обработки между группами целей длительность всех этапов (циклов) будет одинакова. Таким образом, с помощью сортировщика, включающего 101 канал, за три цикла можно рассортировать грузы по 300 целям.

Как видим, в отличие от базовой схемы при сортировке в несколько этапов количество целей может многократно превышать имеющееся количество каналов сортировки. Это снижает стоимость сортировщика, но платой за такую возможность является необходимость организации накопителя, оперативной зоны кратковременного хранения, и появление дополнительных складских операций, связанных с размещением груза в накопитель и последующим отбором из него. В показанной схеме количество циклов сортировки (M) определяется отношением количества целей к количеству каналов сортировки. При этом ее очевидным недостатком является многократное прохождение суточного объема обработки как через конвейер (M раз), так и через накопитель ($M-1$ раз), что снижает итоговую полезную пропускную способность участка сортировки и увеличивает трудоемкость и затраты на обработку.

Схема № 1Б. Многоэтапная с периодической подачей на конвейер из приемки

Следующая модификация алгоритма работы последней схемы увеличи-

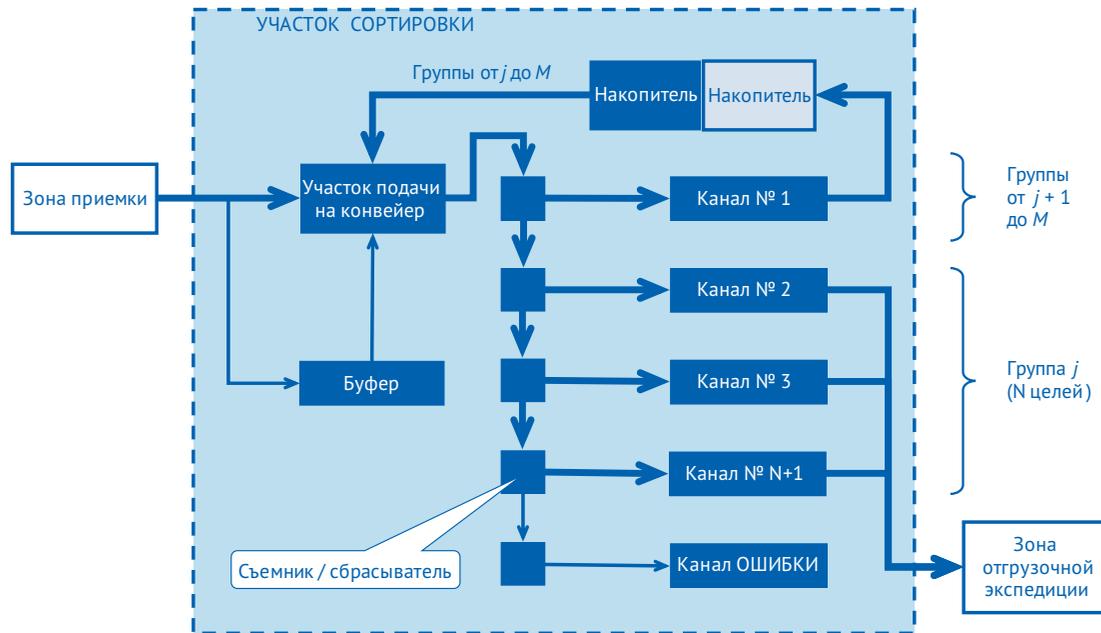


Рисунок 2. Схема сортировки № 1А. Многоэтапная с непрерывной подачей на конвейер из приемки и периодической из накопителя

Источник: ООО «Концепт Лоджик»

вает пропускную способность участка сортировки за счет снижения потока через накопитель. Подача входящего потока на конвейер производится только во время первого этапа, когда сортируется первая группа обработки. При втором и последующих этапах входящий поток перенаправляется в буфер, находящийся между зоной приемки и конвейером, а подача на конвейер ведется по циклам из накопителя (рис. 3). Таким образом после каждого цикла сортировки объем груза, направляемого в накопитель, сокращается на долю соответствующей группы обработки, поэтому длительность каждого последующего цикла короче предыдущего. Наибольшая эффективность по данному варианту достигается при сортировке всех целей в порядке убывания объемов, тогда объем первой группы целей и длительность первого этапа будут максимальны, а поток через накопитель – минимален.

Схема № 2. Многоэтапная со сложной сортировкой

Еще один вариант многоэтапной схемы часто используется при сложной сортировке. На первом этапе весь поток обработки разделяется на группы обработки по какому-то одному признаку или их сочетанию, и каждая сформированная группа направляется

в отдельный накопитель. На втором этапе все эти группы по очереди сортируются по другому признаку или их сочетанию, поэтому количество циклов сортировки в течение текущего этапа равно количеству групп, сформированных на предыдущем этапе (рис. 4). На последующих этапах выполняется сортировка по остальным признакам. В результате такой многоэтапной обработки весь объем груза пропускается через сортировку несколько раз (по количеству этапов), а количество целей при некоторых условиях может быть равно количеству каналов, возведенному в степень, равную количеству этапов. Например, 10 каналов за 3 цикла могут обслужить до 1000 целей сортировки.

Подход к определению рационального количества этапов и каналов при сложной сортировке по нескольким признакам рассмотрен в [2], где показана возможность оптимизации сортировочной системы за счет попарного объединения признаков сортировки.

Как видно, основным преимуществом рассмотренных выше вариантов многоэтапной сортировки является сокращение необходимого количества каналов в несколько раз относительно базовой одноэтапной схемы, что многократно снижает общую стоимость сортировщика. Однако схема многоэтапной сортировки имеет свои ограничения и недостатки.

Во-первых, появляются дополнительные операции, связанные с размещением груза в накопитель и последующим отбором из него. При этом через накопитель пропускается весь объем обработки, а в некоторых случаях даже несколько раз, что значительно повышает трудоемкость и стоимость сортировки.

Во-вторых, в схемах с периодической подачей из приемки на конвейер после завершения первого этапа сортировки склад уже не может сортировать новые поступления до тех пор, пока не будет завершен последний цикл последнего этапа. А это накладывает ограничения на график обработки входящего потока, увеличивает среднее время обработки и снижает общую пропускную способность склада. Появляется необходимость организации дополнительного буфера между зоной приемки и конвейером.

В-третьих, так как весь объем сортировки пропускается через конвейер и сортировщик более одного раза, ее полезный объем ниже фактической производительности оборудования во столько же раз.

Однако, изменив алгоритм и схему многоэтапной сортировки, как будет показано далее, можно вести сортировку входящего потока почти непрерывно, при этом объем дополнительных операций по работе с накопителем сократится в несколько

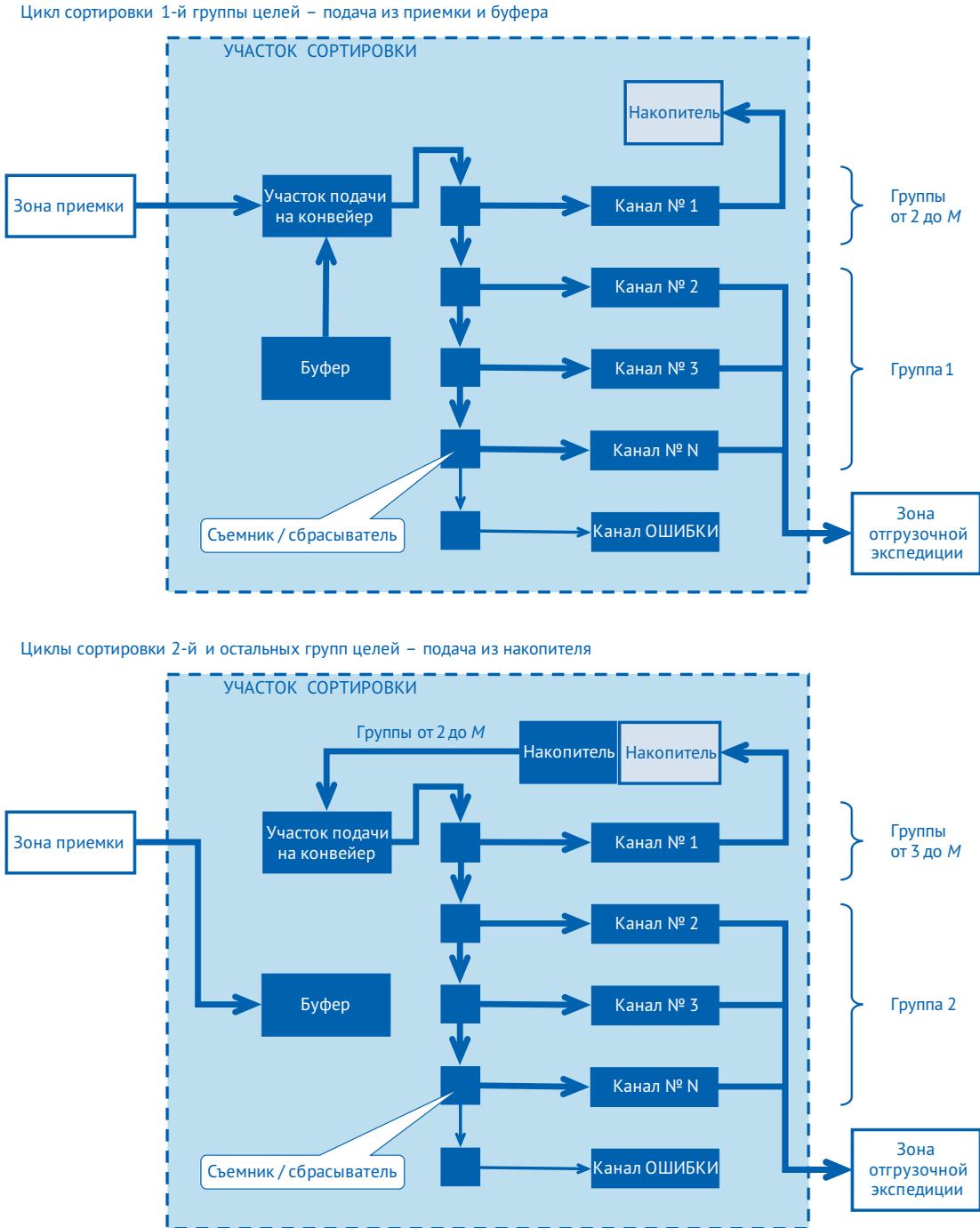


Рисунок 3. Схема сортировки № 15. Многоэтапная с периодической подачей на конвейер из приемки и накопителя
Источник: ООО «Концепт Лоджик»

раз. А главное, полезный объем сортировки будет практически равен фактической производительности конвейера, как при одноэтапной сортировке.

Схема № 3. Двухэтапная с предварительной сортировкой

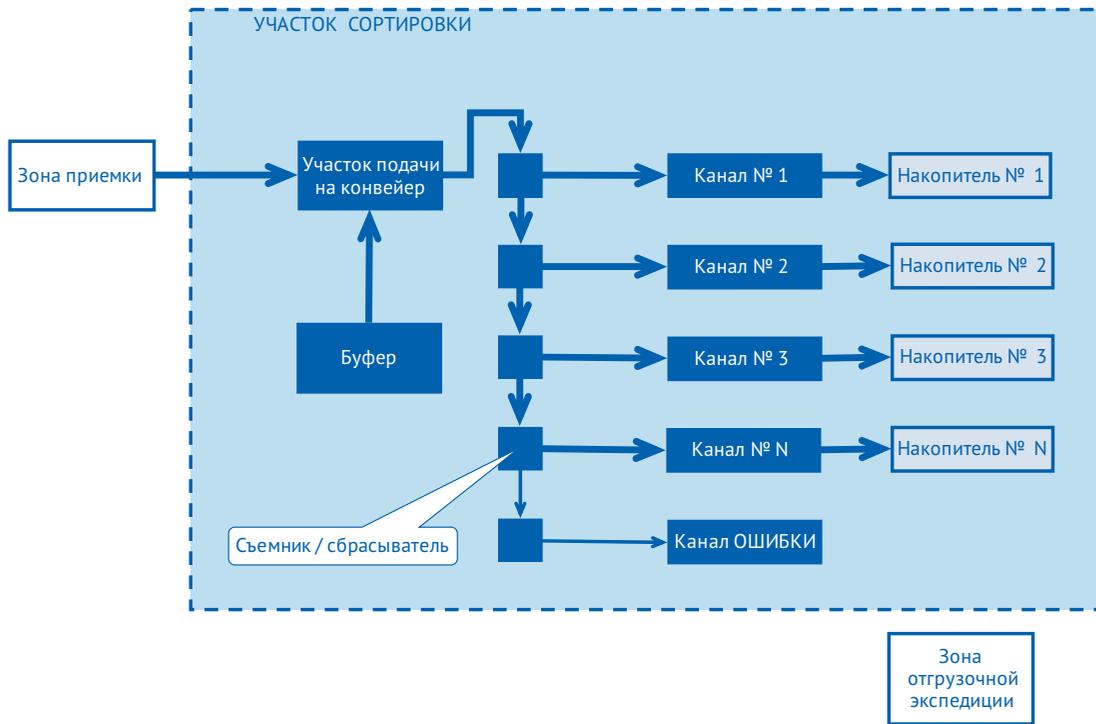
Основное отличие данной схемы заключается в предварительной со-

ртировке потока на группы обработки при помощи еще одного участка, разделяющего поток на несколько групп обработки в начале конвейера. Затем каждая группа поочередно сортируется на втором участке. Таким образом, сортировка разделена на два этапа, но в отличие от предыдущих схем они выполняются одновременно. При этом для первого этапа предварительной

сортировки нужно всего несколько дополнительных каналов (по количеству групп обработки). В этом случае алгоритм двухэтапной сортировки и схема участка на примере простой сортировки по пунктам доставки выглядят следующим образом (рис. 5):

- на уровне настроек WMS и ПО конвейерно-сортировочной системы все направления отгрузки (пункты

1-й этап сортировки – подача из приемки и буфера



2-й этап сортировки – поочередная подача из накопителей

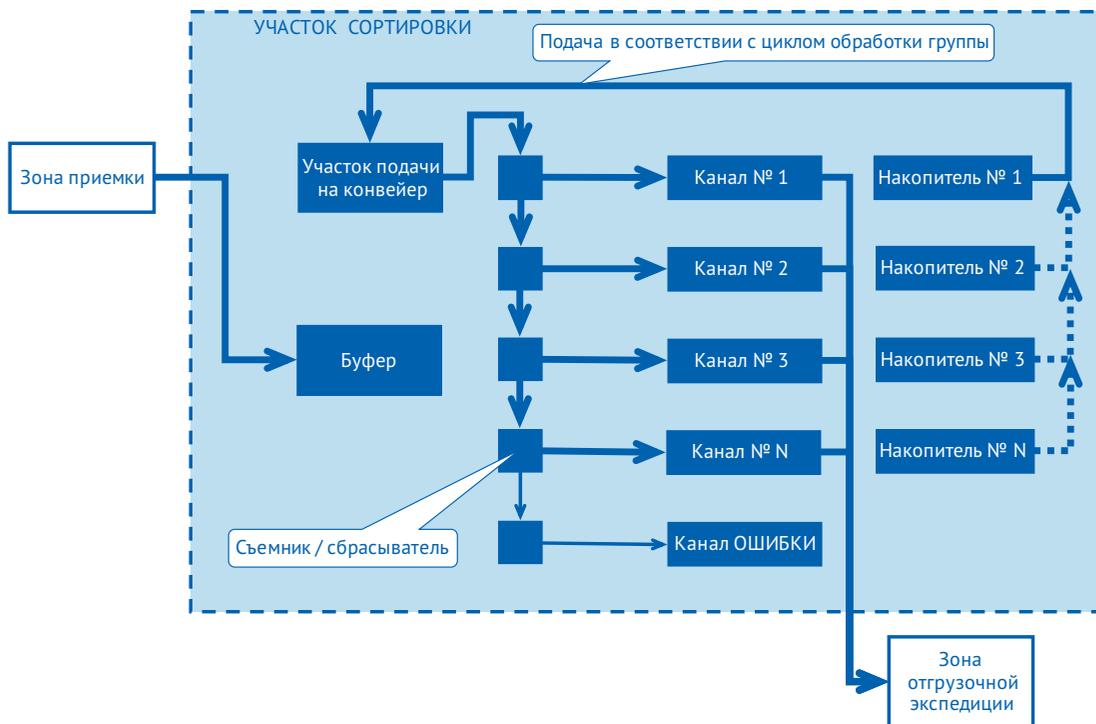


Рисунок 4. Схема сортировки № 2. Многоэтапная со сложной сортировкой (на примере двух этапов)
 Источник: ООО «Концепт Лоджик»

Цикл сортировки 1-й группы целей

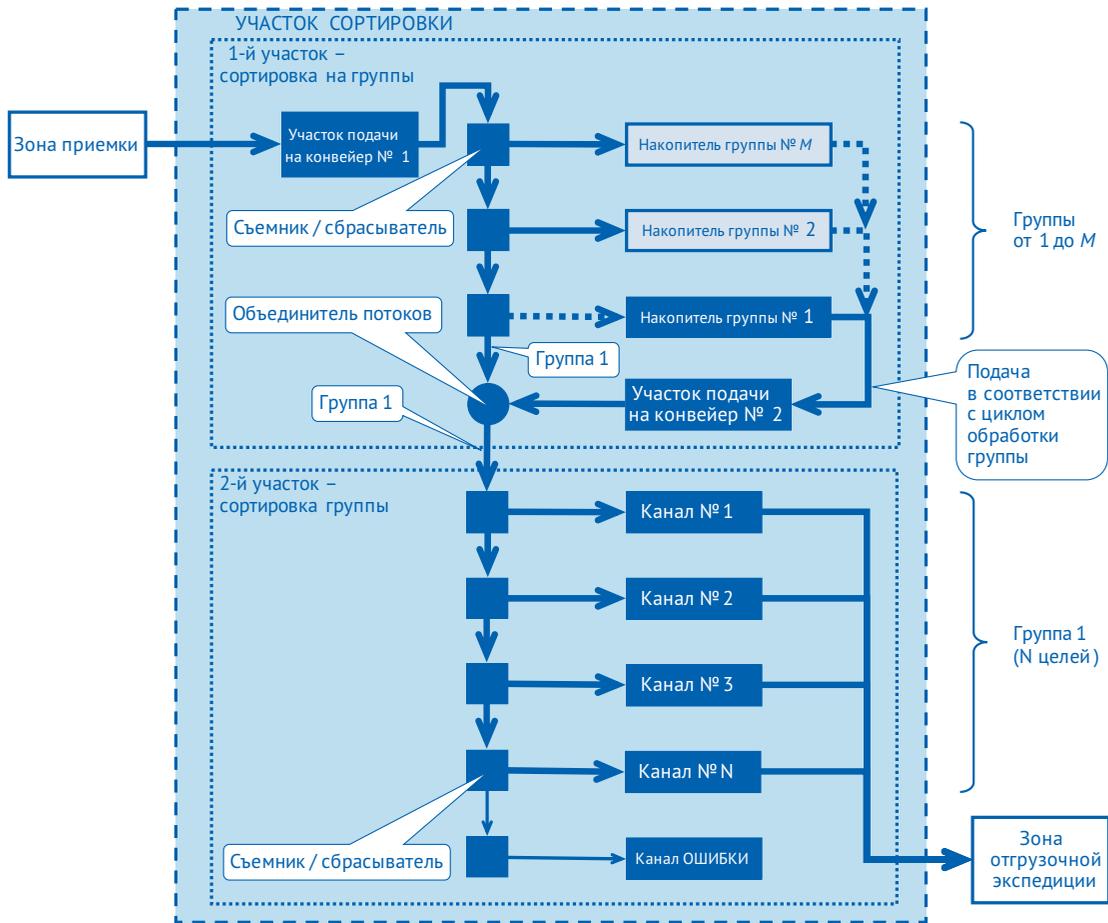


Рисунок 5. Схема сортировки № 3. Двухэтапная с предварительной сортировкой на группы и непрерывной подачей из приемки
Источник: ООО «Концепт Лоджик»

доставки или магазины) делятся на группы обработки;

- количество пунктов доставки, включаемых в одну группу (цикл), ограничено количеством каналов сортировки, имеющихся в системе. При этом для отдельных пунктов с большой нагрузкой может быть задействовано сразу несколько каналов. Таким образом, количество групп примерно равно отношению общего количества пунктов доставки (конечных групп сортировки) к количеству каналов на втором участке сортировки;
- грузы для всех групп обработки подаются из приемки на общий конвейер постоянно и одновременно;
- на первом участке сортировки производится распределение груза по группам обработки (циклам) – после автоматического определения принадлежности груза к той или иной группе он либо пропускается дальше по конвейеру на второй участок сортировочной системы, либо направ-

ляется в накопитель (отдельную зону временного хранения);

- количество каналов на первом участке должно быть равно количеству групп обработки и соответственно количеству циклов сортировки на втором участке, при этом в конце каждого канала необходим отдельный накопитель;
- дальше по конвейеру на второй участок сортировки пропускаются только те грузы, которые относятся к группе обработки, сортируемой по пунктам доставки в данный момент;
- после завершения сортировки первой группы обработки (первый цикл) производится освобождение каналов второго участка сортировки и их переназначение на новые пункты доставки, относящиеся ко второму циклу (для этого необходим технологический перерыв);
- затем начинается обработка второй группы обработки (второй цикл) – на второй участок сортировки по кон-

вейеру направляется груз, относящийся ко второй группе, как из накопителя, так и зоны приемки;

- после завершения сортировки второй группы цикл действий повторяется для следующей группы;
- таким образом, с помощью одних и тех же каналов последовательно обрабатываются все группы.

Как видно, применение накопителей на первом участке сортировки позволяет подавать грузы на конвейер без остановки.

Чтобы сократить объем дополнительных операций в зоне накопителей, конечные группы сортировки (цели) нужно отсортировать в порядке убывания объема отгрузки. В этом случае время каждого последующего цикла будет меньше предыдущего, так как время цикла (длительность сортировки) прямо пропорционально объему сортируемой группы. Это позволит для самой большой группы (первой) уменьшить долю, направляе-

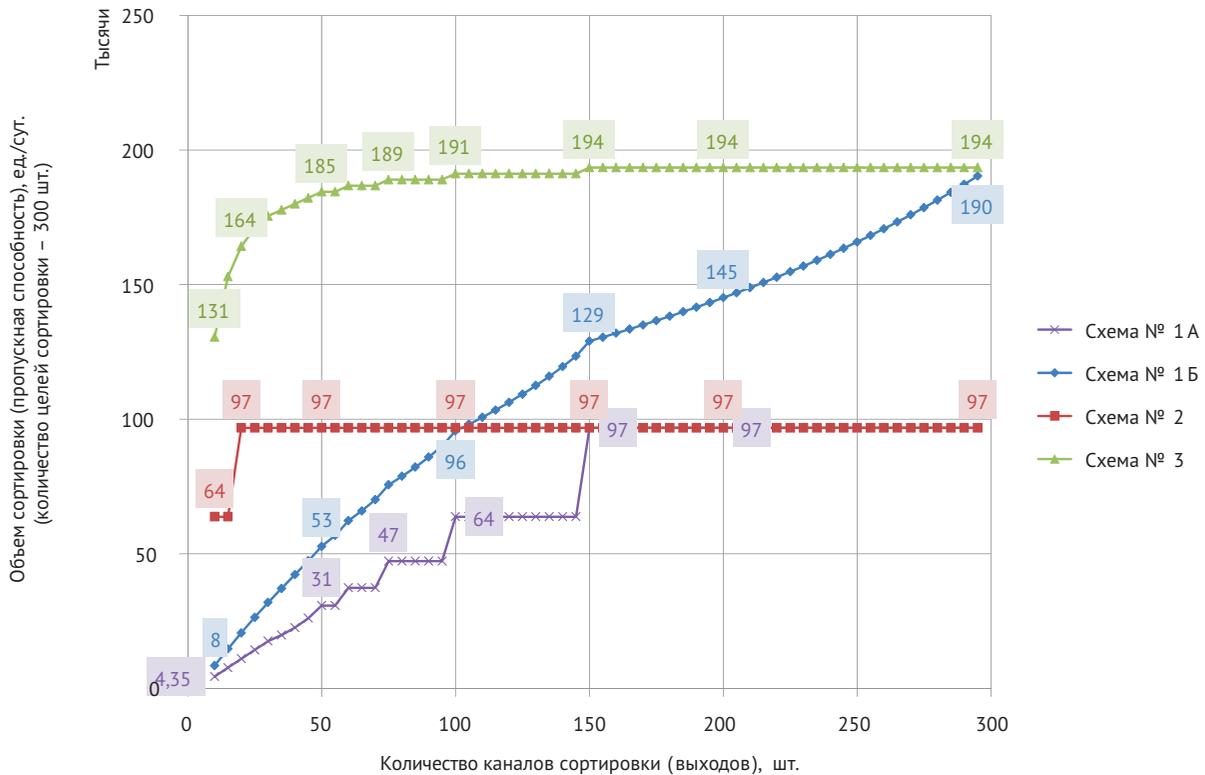


Рисунок 6. Зависимость суточной пропускной способности участка сортировки от количества каналов при 300 целях
Источник: ООО «Концепт Лоджик»

мую в накопитель, и сократить дополнительные трудозатраты, связанные с размещением и отбором груза из накопителя.

Сравнение схем сортировки

Для анализа взаимосвязей основных логистических и экономических характеристик при проектировании нового участка сортировки в качестве изменяемого параметра удобно взять количество каналов сортировщика. Это позволяет проследить следующую закономерность, характерную для всех схем многоэтапной сортировки. Уменьшение количества каналов относительно базового варианта, когда количество каналов равно количеству целей, имеет следующие последствия:

- увеличивается количество циклов сортировки;
- объемы групп обработки уменьшаются;
- возрастает доля потока, проходящая через буфер и накопитель, и трудозатраты на его обработку;
- время работы конвейера сокращается из-за увеличения общего времени технологических перерывов, что снижает пропускную способность;

- стоимость сортировщика снижается.

Чтобы лучше понять значение данных факторов для разных схем обработки, далее приведены результаты численного моделирования работы участка сортировки, которые получены с учетом следующих условий:

- равномерное поступление товара на склад в течение рабочего времени склада;
- равномерное распределение целей во входящем потоке;
- равномерное распределение объемов сортировки по целям (каналам);
- количество целевых групп сортировки – 300 шт.;
- максимальная производительность сортировочного конвейера – 9000 ед./ч.;
- средний объем единицы обработки – 0,015 м³/ед.;
- время работы участка сортировки в течение суток – 22 ч.;
- длительность одного технологического перерыва между циклами – 0,25 ч.

Расчеты показывают, что при сокращении каналов пропускная способность участка сортировки для схем № 1А и № 1Б быстро падает. При этом наибольшую пропускную способность при одном и том же количестве кана-

лов обеспечивает двухэтапная схема с предварительной сортировкой – схема № 3 (рис. 6). Ступенчатый характер графиков объясняется изменением необходимого количества циклов сортировки.

Для оценки экономической эффективности необходимо учесть не только инвестиционные затраты на оборудование (рис. 7), но и операционные расходы. Стоимость оборудования зависит от количества каналов сортировки практически линейно и отличается для разных схем относительно немного. Чтобы сравнить операционные расходы для разных схем сортировки, достаточно учесть только отличающиеся трудозатраты на дополнительные операции, связанные с буфером и накопителем, а также затраты на аренду складской площади, которая зависит от объема хранения в буфере и накопителе. Взаимосвязь между пропускной способностью, операционными и инвестиционными затратами наглядно выражают удельные затраты на сортировку (рис. 8). Анализируя совокупные удельные затраты при сортировке по 300 целям, можно сделать вывод, что минимальные удельные затраты обеспечивает схема с предварительной сортировкой (№ 3). Расче-

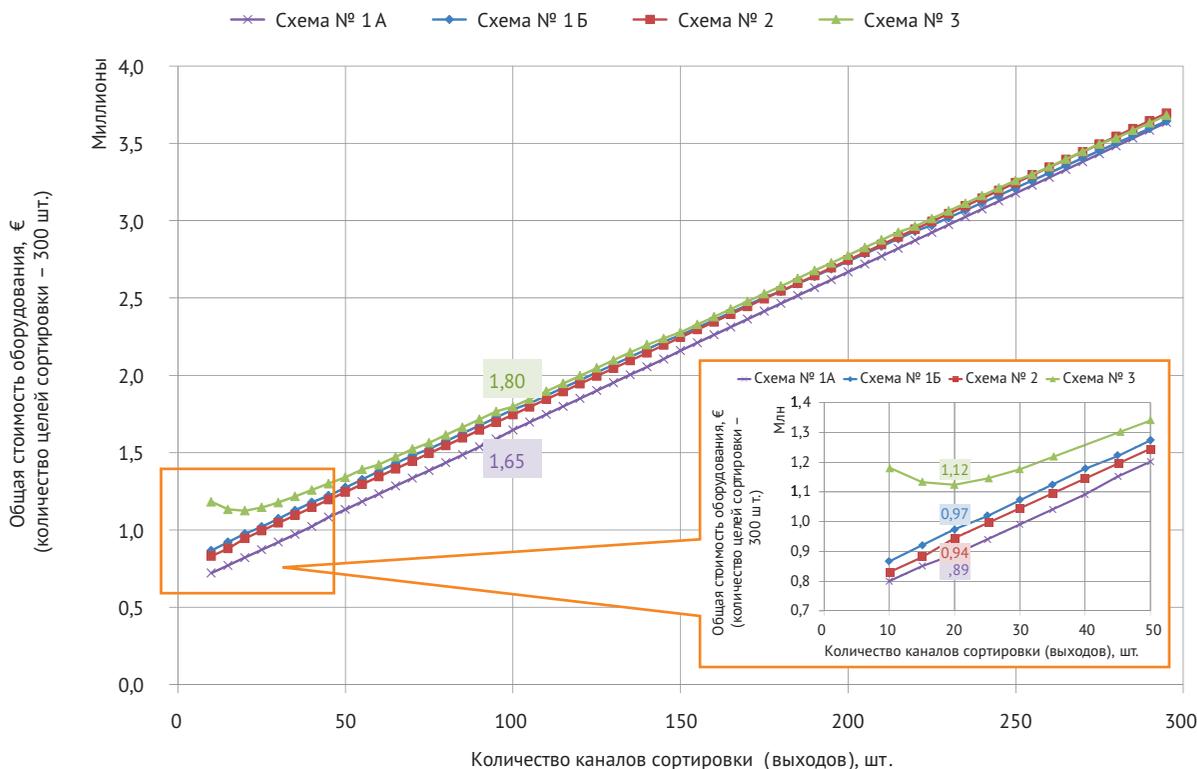


Рисунок 7. Зависимость общей стоимости оборудования участка сортировки от количества каналов при 300 целях
 Источник: ООО «Концепт Лоджик»

ты сделаны для следующих значений параметров:

- удельная стоимость аренды, включая операционные расходы и коммунальные платежи – 5000 руб./м²/год;
- стоимость трудового ресурса – 364 руб./ч./чел.;
- курс € – 85 руб./€;
- срок полной амортизации сортировщика – 5 лет.

На представленных выше графиках соотношение количества целей и количества каналов, которое определяет количество циклов сортировки за сутки, не превышает 30. В этих пределах наибольшую эффективность показывает схема с предварительной сортировкой (№ 3). Однако в том случае, когда количество целей превышает количество каналов на два порядка и более, единственной схемой, которая сохраняет работоспособность, является схема многоэтапной сложной сортировки (№ 2). Это видно из результатов моделирования сортировки по 3000 целям (рис. 9 и 10).

При наличии действующей сортировочной системы с определенным количеством каналов возникает вопрос, как изменится производительность и стоимость сортировки, если количество целей увеличится? Имеют

ли смысл инвестиции в более производительное и дорогое оборудование, если пики нагрузки возникают только в ограниченные периоды? Для ответов на эти вопросы нужен анализ в разрезе количества целей сортировки. Результаты расчетов на примере системы на 100 каналов показывает, что схемы № 2 и 3 характеризуются достаточно высокой стабильностью как пропускной способности, так и удельных затрат, что также говорит в пользу их выбора. При увеличении количества целей в 2 раза, с 300 до 600 шт., для схемы № 3 объем сортировки снижается на 4%, а удельные затраты вырастают на 16%, но данная схема все равно остается самой экономичной и производительной (рис. 11, 12).

Последний пример раскрывает важное положительное свойство многоэтапной сортировки по схемам № 2 и 3. От начала логистического проектирования новой конвейерно-сортировочной системы до завершения ее внедрения может пройти более года. С учетом того, что инвестиции в автоматическую сортировку окупаются несколько лет, проектировать систему приходится на основе долгосрочных прогнозов обрабатываемых грузопотоков, при этом они имеют большую

погрешность. Поэтому через несколько лет фактическая структура потоков может значительно отклониться от прогноза. Кроме того, быстрый рост объемов сортировки может требовать последовательного перехода от одного технологического варианта к другому с поэтапным внедрением дополнительного оборудования. В этих условиях схема многоэтапной сортировки обеспечивает необходимую гибкость решения – недостаток количества каналов сортировки может быть преодолен за счет простого увеличения количества циклов обработки.

В заключение нужно отметить еще одну особенность многоэтапной сортировки, присущую всем рассмотренным вариантам.

Следует помнить, что при многоэтапной сортировке происходит некоторое снижение уровня клиентского сервиса. Так как поступление груза на склад идет круглосуточно, а обработка групп ведется последовательно по расписанию, возникает перенос части сортировки на следующие сутки из-за того, что грузы, причисленные к определенному циклу, но принятые на склад уже после его завершения, будут обработаны только на следующий день. Доля

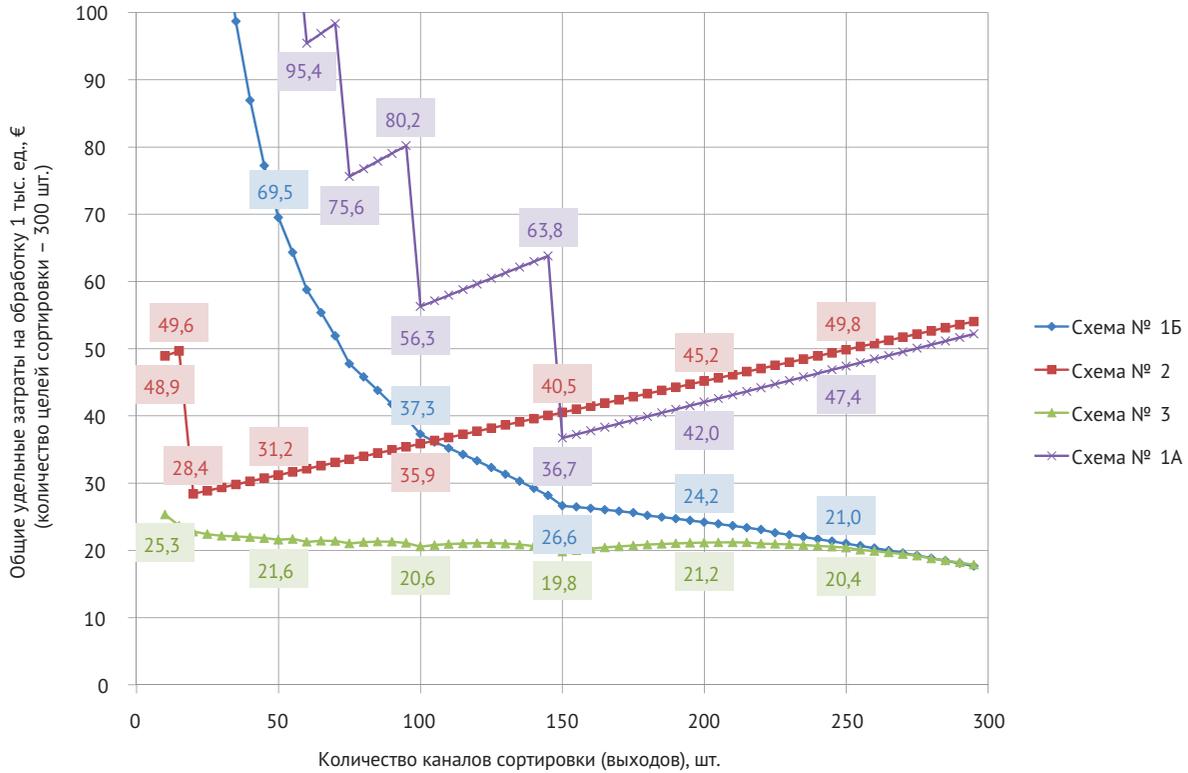


Рисунок 8. Зависимость удельных затрат на сортировку 1 тысячи единиц от количества каналов при 300 целях
Источник: ООО «Концепт Лоджик»

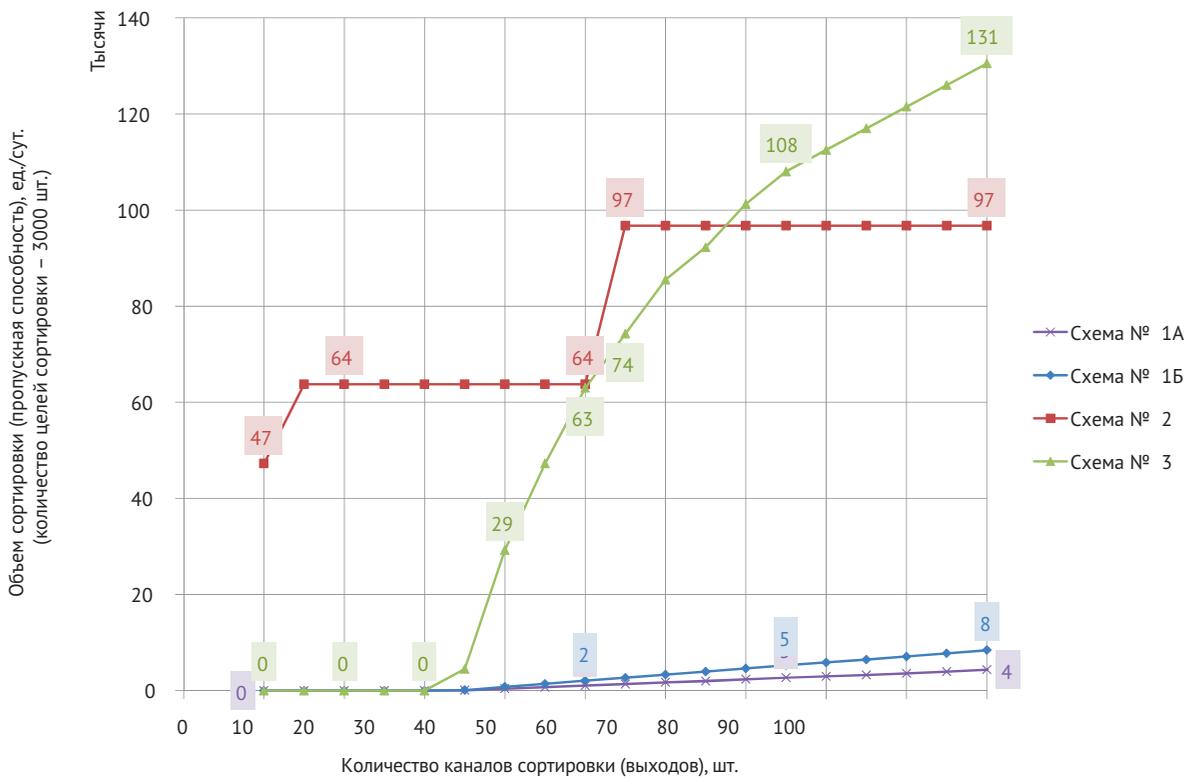


Рисунок 9. Зависимость суточной пропускной способности участка сортировки от количества каналов при 3000 целях
Источник: ООО «Концепт Лоджик»

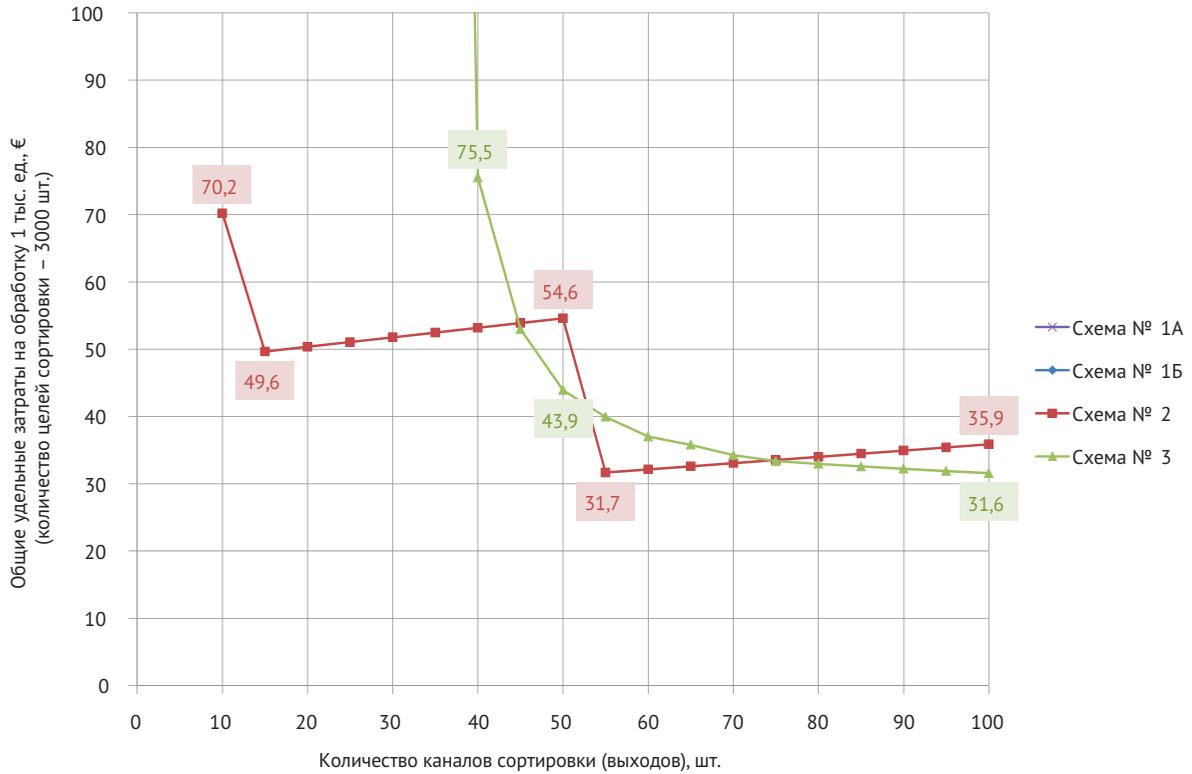


Рисунок 10. Зависимость удельных затрат на сортировку 1 тысячи единиц от количества каналов при 3000 целях
 Источник: ООО «Концепт Лоджик»

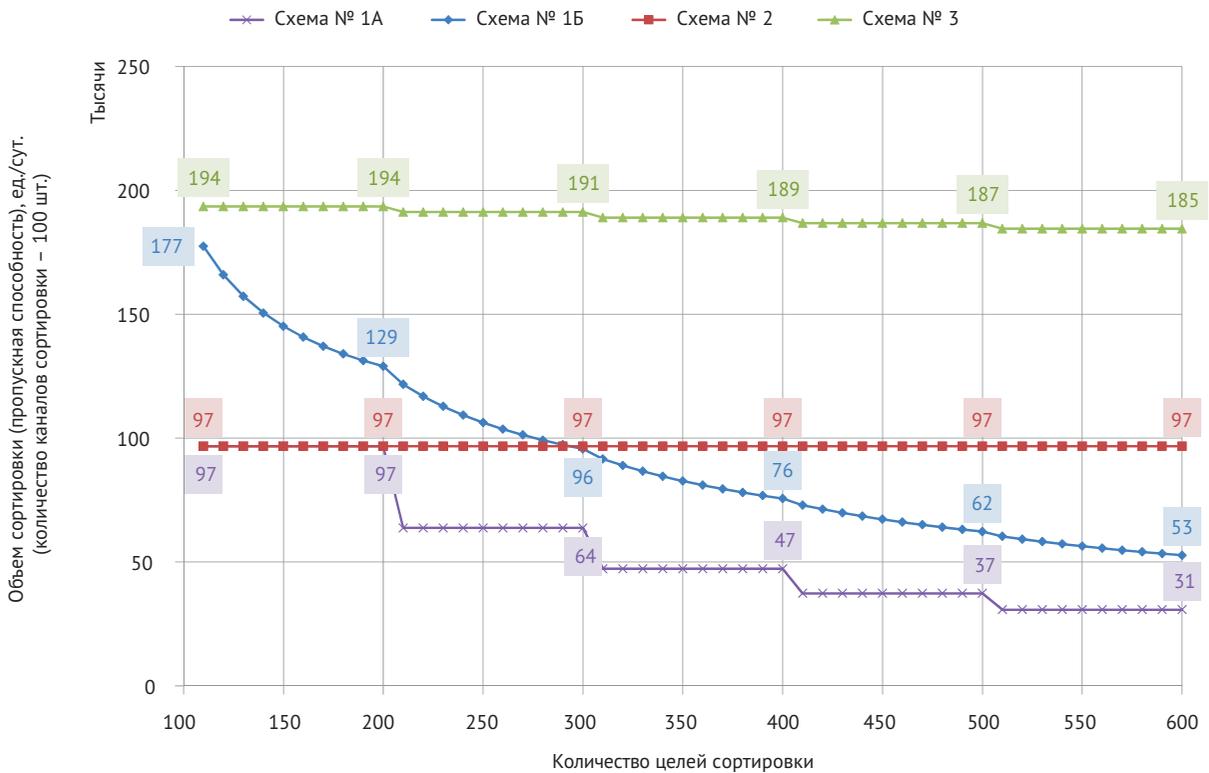


Рисунок 11. Зависимость суточной пропускной способности от количества целей сортировки для участка сортировки со 100 каналами
 Источник: ООО «Концепт Лоджик»

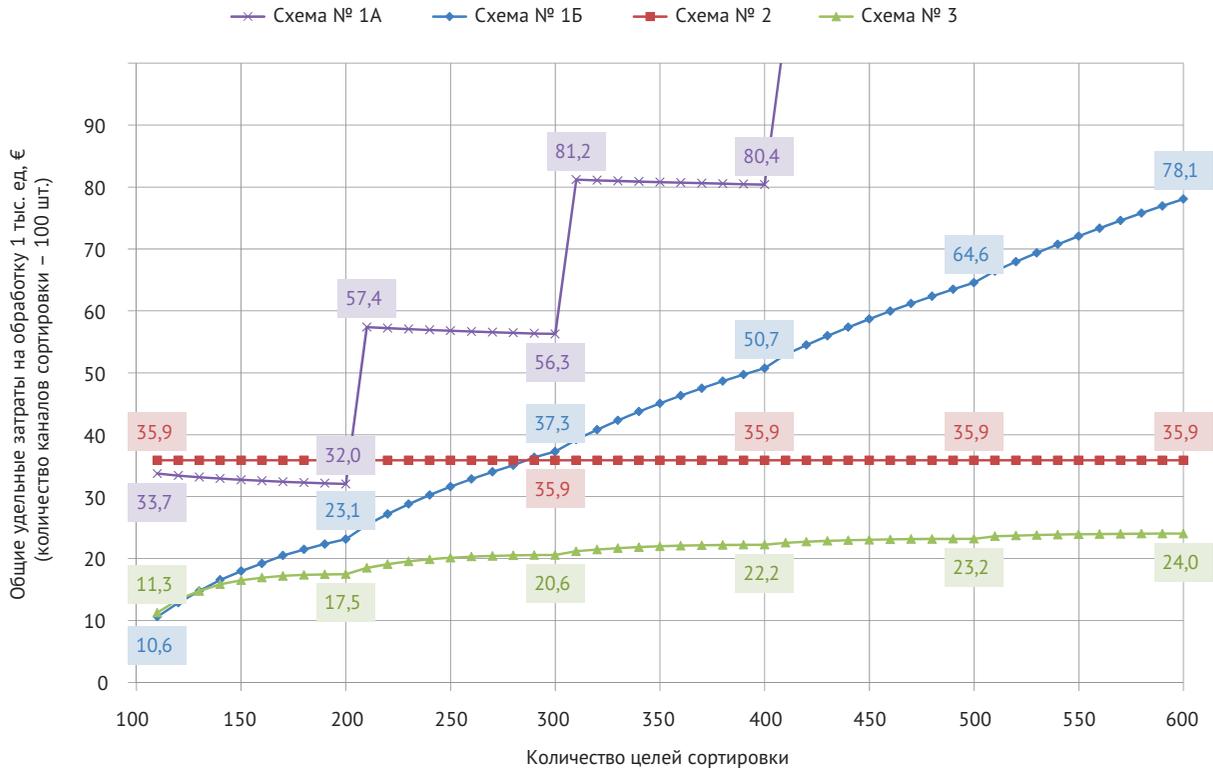


Рисунок 12. Зависимость удельных затрат на сортировку 1 тысячи единиц от количества целей сортировки для участка сортировки со 100 каналами
 Источник: ООО «Концепт Лоджик»

отгрузки, переносимой на следующий день, находится в сложной зависимости от общего количества конечных групп сортировки и количества имеющихся каналов. Но чем больше количество циклов обработки, тем больше объем сортировки, переносимый на следующие сутки. А это, в свою очередь, приводит к снижению логистического сервиса в том смысле, что для части заказов происходит увеличение срока обработки и доставки на одни сутки.

Если бы приемка груза на склад завершалась до времени окончания первого цикла обработки, то потребность в накопителе не приводила бы к увеличению общей емкости склада по хранению. Это объясняется тем, что зона палетного хранения может быть поделена между отгрузочной экспедицией и накопителем по динамическому принципу, а общий объем хранения на складе не превышает суточного объема отгрузки. Но по причине переноса части обработки на следующие сутки требуется соответствующее увеличение общей емкости хранения на складе.

Таким образом, при проектировании сортировочной системы возникает многокритериальная задача оптимизации, так как увеличение ко-

личества циклов сортировки, с одной стороны, сокращает количество и стоимость дорогого сортировочного оборудования, а с другой – увеличивает стоимость сортировки и снижает уровень логистического сервиса. Нельзя принимать решение о выборе технологического варианта только на основании финансовых и экономических показателей, так как зависящий от этого уровень логистического сервиса может играть определяющую роль для бизнеса. Для принятия взвешенного решения требуется построение и анализ графика стоимости логистического сервиса, который увязывает все эти параметры. Численное моделирование, использующее результаты анализа потоков и вариантное прогнозирование их характеристик на перспективу, дает возможность выбрать схему сортировки и определить оптимальные параметры сортировочной системы с учетом стандарта обслуживания, требуемого бизнесом.

Пример расчета характеристик участка сортировки

Ниже приведены результаты расчетов характеристик участков сорти-



Рисунок 13. Распределение объемов сортировки по целям
 Источник: ООО «Концепт Лоджик»

ровки, построенных по схемам, описанным выше (табл. 2). Расчеты сделаны с учетом следующих начальных условий:

- средний суточный поток для сортировки – 100 тыс. ед./сут.;
- равномерное поступление товара на склад в течение суток;
- количество целей сортировки – 300 шт.;
- равномерное распределение целей во входящем потоке;
- форма распределения объемов сортировки по целям – гипербола (рис. 13);

Таблица 2.

Пример расчета характеристик участка сортировки для разных схем при рабочей нагрузке 300 дней в году, времени работы склада 22 ч. в сутки, с технологическими перерывами 15 мин между циклами сортировки

Источник: ООО «Концепт Лоджик»

Характеристики и параметры	Значение параметра	Схема № 1Б	Схема № 2	Схема № 3
Всего каналов, шт.		151	19	57
Общее время технологического перерыва, ч		0,50	0,50	1,50
Максимальная производительность сортировочного конвейера, ед./ч.	9000			
Максимальный объем сортировки (пропускная способность), ед./сут.		154 800	96 750	184 500
Среднегодовая загрузка от максимальной производительности		65%	103%	54%
Конвейер				
Общая площадь под конвейерно-сортировочную систему, м ²		2600	1016	2100
Удельная стоимость аренды, включая операционные расходы и коммунальные платежи, руб./м ² /год	5000			
Удельная стоимость складской площади под конвейерно-сортировочную систему (при максимальной нагрузке), €/тыс. ед.		3,29	2,23	2,23
Накопитель				
Доля суточного потока через накопитель		25%	100%	76%
Суточный поток через накопитель, м ³		580	1451	2100
Общая трудоемкость, чел. × ч.		155	387	560
Стоимость дополнительных операций, €/сут.		662	1656	2396
Удельные затраты на доп. операции в накопителе (при максимальной нагрузке), €/тыс. ед.		4,28	17,11	12,98
Максимальный объем хранения в накопителе, м ³		580	1 451	659
Количество палет, шт. при объеме 1,2 м ³ /пал.		484	1 210	549
Площадь зоны накопителя, м ²		230	576	261
Удельная стоимость складской площади под накопитель (при максимальной нагрузке), €/тыс. ед.		0,29	1,17	0,28
Буфер между приемкой и конвейером				
Доля суточного потока через буфер		27%	51%	0%
Суточный поток через буфер, м ³		620	742	0
Общая трудоемкость, чел. × ч. при производительности 30 м ³ /ч./чел.		21	25	0
Удельные затраты на доп. операции в буфере (при максимальной нагрузке), €/тыс. ед.		0,57	1,09	0,00
Максимальный объем хранения в буфере, м ³		620	742	0
Количество палет, шт. при объеме 1,2 м ³ /пал.		517	619	0
Площадь зоны буфера, м ²		246	294	0
Удельная стоимость складской площади под буфер (при максимальной нагрузке), €/тыс. ед.		0,31	0,60	0,00

Окончание таблицы 2

Характеристики и параметры	Значение параметра	Схема № 1Б	Схема № 2	Схема № 3
Оборудование				
Стоимость стеллажей в буфере, €		15 510	18 570	0
Стоимость стеллажей в накопителе, €		14 520	36 300	16 470
Стоимость стеллажей, €		30 030	54 870	16 470
Стоимость конвейерно-сортировочного оборудования, €		2 190 000	870 000	1 320 000
Общая стоимость оборудования, €		2 220 030	924 870	1 336 470
Удельные затраты на оборудование (при максимальной нагрузке), €/тыс. ед.		9,50	6,18	4,80
Общие удельные затраты на обработку 1 тыс. ед. при максимальной загрузке, €		18,24	27,89	20,29
Удельные затраты при среднегодовой нагрузке				
Пропускная способность (максимальная нагрузка), ед./сут.		154 804	96 750	184 500
Среднегодовой суточный поток, ед./сут.		100 000	100 000	100 000
Удельная стоимость складской площади под конвейерно-сортировочную систему, €/тыс. ед.		5,10	–	4,12
Удельные затраты на доп. операции в буфере, €/тыс. ед.		0,57	–	0,00
Удельная стоимость складской площади под буфер, €/тыс. ед.		0,48	–	0,00
Удельная стоимость складской площади под накопитель, €/тыс. ед.		0,45	–	0,51
Удельные затраты на доп. операции в накопителе, €/тыс. ед.		4,28	–	12,98
Удельные затраты на оборудование, €/тыс. ед.		14,70	–	8,85
Общие удельные затраты на обработку 1 тыс. ед. при среднегодовой нагрузке, €		25,58	–	26,47

■ курс € – 85 руб./€;

■ срок окупаемости проекта – 5 лет.

Схема № 1Б со 150 каналами сортировки имеет максимальную пропускную способность 155 тыс. ед. в сутки, а средняя загрузка составит 65%. Схема № 3 при 50 каналах (и 6 дополнительных) способна сортировать больше – до 185 тыс. ед. в сутки, но средняя загрузка не превысит 54%. Такой резерв по производительности дает возможность справляться с пиковыми нагрузками, превышающим средний уровень в 1,5–2 раза.

Для сложной сортировки по 300 целям в схеме № 2 достаточно 18 каналов и двух циклов. Однако для нее пропускная способность ограничена

97 тыс. ед., что объясняется предельной производительностью конвейера и необходимостью двухкратной сортировки всего объема. Увеличение количества каналов в схеме № 2 дает возможность увеличить количество сортируемых целей, но не объем сортировки. Поэтому схема № 2 не отвечает заданным требованиям.

Решение по схеме № 1Б ввиду большого количества каналов в сравнении с решением по схеме № 3 почти в 2 раза дороже – 2,2 млн евро против 1,3 млн евро инвестиций на старте. Но на пятилетнем периоде удельные затраты по схеме № 1Б оказываются на 3,5% ниже, чем для схемы № 3, что объясняется меньши-

ми трудозатратами на персонал, необходимым для работы с накопителем (менее чем в 3 раза). Этот пример хорошо показывает зависимость выбора технологического решения от того, как соотносятся стоимость оборудования и стоимость персонала склада.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Толмачёв К.С., Иванов А.И. Логистические критерии перехода от ручной сортировки товара к автоматизированной // Логистика. – 2013. – № 9.
2. Толмачёв К.С. Повышение эффективности автоматизированной сортировки на складе // Логистика. – 2014. – № 8. ■