Барсук И. В.

*Ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический
университет связи и информатики»
Москва, Россия*

doi: 10.18411/lj-31-10-2016-2-02

idsp 000001:lj-31-10-2016-2-02

**Устройство перемещения посылок от сборных транспортёров
сортировочной установки к роботизированным комплексам загрузки
посылок в контейнеры повышенной пропускной способности**

Аннотация

Предметом исследования служит устройство перемещения посылок от сборных транспортёров сортировочной установки к роботизированным комплексам загрузки посылок в контейнеры. Целью исследования является увеличение пропускной способности устройства. Приведена конструктивная схема и описан порядок работы устройства. Представлена методика расчета и дана оценка увеличения относительной пропускной способности устройства.

Ключевые слова: посылка, сборный транспортёр, передающий конвейер, поперечный транспортёр, пропускная способность, роботизированный комплекс загрузки посылок в контейнеры.

Barsuk I.V.

**The device of movement of parcels from combined conveyors of sorting installation
to robotic complexes of loading parcels in containers of the increased capacity**

Summary

As object of research serves the device of movement of parcels from combined conveyors of sorting installation to robotic complexes of loading of parcels in containers. A research objective is increase in capacity of the device. The constructive scheme is provided and the device operating procedure is described. The calculation procedure is

presented and an assessment of increase in relative capacity of the device is given.

Keywords: a parcel, the combined conveyor transferring the conveyor, the cross conveyor, capacity, a robotic complex of loading of parcels to containers.

Постановка задачи

Одним из узких мест процесса обработки посылок в современных автоматизированных сортировочных центрах (далее – АСЦ) почтовой связи является участок выгрузки посылок из накопителей сортировочной установки на сборный транспортёр (далее – ТС), перемещение их к местам загрузки в тару, загрузка посылок в тару вручную [1]. Вследствие сравнительно низкой пропускной способности этого участка возникают простои дорогостоящего высокопроизводительного сортировочного оборудования из-за ожидания разгрузки заблокированных накопителей. С разработкой роботизированного комплекса загрузки посылок в контейнеры (далее – КР) [2, 3] появляется возможность создания автоматизированной линии сортировки посылок [4, 5]. Для минимизации простоев сортировочной установки актуальной становится задача создания устройства перемещения посылок (далее – УПП) от ТС сортировочной установки к КР повышенной пропускной способности.

Конструктивная схема и порядок работы УПП

Решение задачи может осуществляться в двух направлениях. Первое – УПП должно иметь возможность включения такого количества конвейеров, передающих посылки от ТС сортировочной установки к КР (далее – КП), которое превышает количество ТС. Второе – в УПП должна обеспечиваться возможность перемещения посылок от каждого ТС к любому свободному КР.

На рис. 1 изображено УПП от двух ТС 1,2 к пяти КР 3 – 7, в котором один КП 11, не примыкающий к ТС, является крайним правым, второй 10 – крайним левым, а третий 12 расположен между КП 8 и 9, примыкающими к ТС со стороны выхода грузов. В УПП данной конфигурации каждый из КП 8 и 9, примыкающих к ТС, соединен с боковой стороны с соседним КП, не примыкающим к ТС, поперечными транспортерами (далее – ТП): КП 8 соединен с КП 12 ТП правым 13 (рис. 2) и левым 14 (рис. 3), а с КП 10 – ТП левым 15, КП 9 соединен с КП 12 ТП левым 16 и правым 17, а с КП 11 – ТП правым 18. За счет коммутации КП посредством ТП в УПП обеспечивается

возможность доставки посылок от каждого ТС к любому КР [6]. Конструктивное единство УПП обеспечено жестким закреплением между собой несущих конструкций (рам) КП и непосредственно связанных с ними ТП (например, посредством болтового соединения, на рис. 1 условно не показано).

ТП расположены под углом α к КП. При этом угол α не должен превышать 90° . Например, при коэффициенте трения материала посылки (картон) о поверхность ремня активной шлюзовой дверки (резина), равном 0,3, оптимальное значение угла α , при котором достигается минимальное время перехода посылки с КП на ТП, составляет 53° [7].

ТП (рис. 2 и 3) оборудованы со стороны входа посылок из КП на ТП активной шлюзовой дверкой (далее – ДША). ДША снабжена ремнем, имеющим возможность вращения, в исходном состоянии выполняющая функцию бортового ограждения КП (рис. 2, а и рис. 3, а). В рабочем состоянии ДША с вращающимся ремнем занимает положение под углом α к продольной оси движущегося рабочего органа КП навстречу находящимся на рабочем органе посылкам и выполняет функцию перемещения посылок с КП на ТП (рис. 2, б, и рис. 3, б). ТП (рис. 2 и 3) со стороны выхода посылок на соседний КП снабжен пассивной шлюзовой дверкой (далее – ДШП). ДШП в исходном состоянии выполняет функцию бортового ограждения соседнего КП (рис. 2, а и рис. 3, а), а в рабочем состоянии, занимая положение под углом к продольной оси рабочего органа соседнего КП, выполняет функцию пропуска посылок из ТП на соседний КП (рис. 2, б, и рис. 3, б). ТП 13 – ДША 19 и ДШП 25, ТП 14 – ДШП 20 и ДШП 26, ТП 15 – ДША 21 и ДШП 27, ТП 16 – ДША 22 и ДШП 28, ТП 17 – ДША 23 и ДШП 29, ТП 18 – ДША 24 и ДШП 30.

Рис. 1. Устройство перемещения посылок (УПП) от двух сборных транспортёров (ТС) к пяти роботизированным комплексам загрузки посылок в контейнеры (КР)

Длина L шлюзовой дверки ТП (рис. 2, б и рис. 3, б) должна быть такой, чтобы в открытом состоянии полностью перекрывать рабочий орган КП.

Минимальное расстояние H между открытыми ДШП и ДША ТП, предназначенных для обеспечения пересечения посылками КП, должно превышать максимально допустимый размер (диагональ) укладываемой посылки, например, между открытой ДШП 25 ТП 13 и открытой ДША 23 ТП 17 – при пересечении посылками КП 12 или между открытой ДШП 29 ТП 17 и открытой ДША 24 ТП 18 – при пересечении посылками КП 9.

Рис. 2. Поперечный транспортер (ТП) для передачи посылок с одного передающего конвейера (КП) на соседний, расположенный справа от первого: а – в исходном состоянии; б – в рабочем состоянии

Рис. 3. Поперечный транспортер (ТП) для передачи посылок с одного передающего конвейера (КП) на соседний, расположенный слева от первого: а – в исходном состоянии; б – в рабочем состоянии

ТП размещают вдоль КП и относительно друг друга таким образом, чтобы обеспечить возможность перемещения посылок от любого ТС к любому КР за минимальное время. При этом у крайнего правого и крайнего левого КП ТП размещают на минимальном расстоянии от соответствующих КР, например, ТП 15 – от КР 5, ТП 18 – от КР 6.

Управление включением и выключением приводов ТС, КП, ТП, шлюзовых дверок, КР осуществляет система управления (на рис.1 условно не показана)

автоматизированной линии сортировки посылок, составной частью которой является УПП.

УПП работает следующим образом. При поступлении посылок на какой-либо из ТС 1, 2 или одновременно на оба ТС система управления (на рис. 1 не показана) производит анализ текущего состояния (работает, не работает) оборудования (КР 3-7, КП 8-12, ТП 13-18 со шлюзовыми дверками 19-30) и выбирает путь транспортирования посылок от ТС к ближайшему не работающему КР. Если такой возможности нет, например, все КР 3-7 работают, то УПП находится в режиме ожидания (приводы всех механизмов 8-30 УПП выключены). Если такая возможность имеется, то включение приводов механизмов система управления производит в следующей последовательности: КР, соответствующий ему КП, при необходимости, ТП со шлюзовыми дверками, с которого на этот КП должны поступить посылки, КП, с которого посылки поступают на этот ТП, и т.д. до ТС, на который поступили посылки, предназначенные для укладки в контейнер. Возврат в исходное положение шлюзовых дверок ТП, выключение приводов работающих механизмов система управления производит в обратной последовательности по мере завершения работы каждого механизма.

Работу УПП, изображённого на рис. 1, для случая, когда на ТС 1 и 2 поступили посылки, предназначенные для укладки в контейнер, КР 3, 4, 6 находятся в состоянии работы, все механизмы УПП 9-30 не работают – находятся в режиме ожидания, иллюстрирует пример, показанный на рис. 4.

Для посылок, находящихся на ТС 2, кратчайшим путём к КР является их транспортирование КП 9, примыкающим к ТС 2, далее ТП левым 16 на не примыкающий к ТС КП 12 и этим конвейером к не работающему КР 7. Для доставки посылок и осуществления укладки в контейнер система управления (на рис. 4 не показана) последовательно включает приводы КР 7, КП 12, ДШП 28 (занимает рабочее положение), ТП 16, ДША 22 (занимает рабочее положение с вращающимся ремнём), КП 9, ТС 2.

Ввиду занятости КР 3 единственным КР, которым могут быть уложены в контейнер посылки, находящиеся на ТС 1, является КР 5. Для этого система управления производит последовательное включение приводов КР 5, КП 10,

ДШП 27 (занимает рабочее положение), ТП 15, ДША 21 (занимает рабочее положение с вращающимся ремнём), КП 8, ТС 1.

Останов движения рабочих органов механизмов, приведение стрелок ТП в исходное положение система управления производит в обратной последовательности по мере завершения прохождения посылок соответствующего участка пути.

Рис. 4. Пример одного из возможных состояний УПП, изображенного на рис. 1: направления движения рабочих органов механизмов и перемещения посылок указаны стрелками

Оценка относительной пропускной способности

Сортировочный конвейер линии может иметь как замкнутую, так и разомкнутую структуру грузопотоков. Адресные накопители сортировочного конвейера должны обладать возможностью автоматической перегрузки накопленной партии посылок на два ТС, расположенных вдоль трассы конвейера. Распределение нагрузки по адресным накопителям должно быть таким, чтобы количество перегружаемых посылок на каждый ТС было примерно одинаковым.

Условно принимается, что при стационарном режиме работы сортировочной установки ($t \rightarrow \infty$) в накопителях перед выгрузкой размещается случайное (в пределах ограничения ёмкости накопителя) количество посылок, требования на разгрузку накопителей поступают в случайные моменты времени (по переполнению, по программе). Соответственно заполняемости накопителей длительность обслуживания поступающих требований на загрузку посылок в

контейнер КР также будет носить случайный характер. Поэтому оценка пропускной способности УПП производится по формулам для систем массового обслуживания (далее – СМО) с ожиданием при ограниченном числе мест m в очереди [8]. При отсутствии в УПП ТП участок выгрузки посылок из накопителей сортировочной установки на ТС, перемещение посылок к КР и их загрузки в контейнер представляет сумму двух одноканальных СМО.

Рассматриваются сортировочные установки для 2-х типов конструктивного исполнения ТС (поз. 1, 2 на рис. 1): 1 – ТС не позволяет размещать все посылки опорожняемого накопителя сортировочной установки и должен сразу подавать их к КР ($m_1 = 0$); 2 – ТС допускает возможность размещения всей выгружаемой из накопителя партии посылок и ожидания момента их направления к освободившемуся КР, т.е. выполняет функцию промежуточного (буферного) накопителя ($m_2 = 1$).

Относительная пропускная способность одноканальной СМО с ожиданием при ограниченном m определяется по формуле [8]

$$q_1 = 1 - P_{\text{отк}} = 1 - \rho_1^{m+1} \frac{1 - \rho_1}{1 - \rho_1^{m+2}} = \frac{1 - \rho_1^{m+1}}{1 - \rho_1^{m+2}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{отк}}$ – вероятность отказа; $\rho_1 = \lambda_1 / \mu_1$ – коэффициент использования; λ_1 – интенсивность потока требований на укладку посылок в контейнеры, поступающих с одного ТС; $\mu_1 = 1/t_{\text{об}}$ – производительность КР; $\bar{t}_{\text{об}}$ – среднее время обслуживания. Для системы с ТС 1-го типа $m = m_1 = 0$ (одноканальная СМО с отказами). Формула (1) приобретает вид

$$q_{11} = \frac{1 - \rho_1}{1 - \rho_1^2} = \frac{1}{1 + \rho_1}. \quad (1')$$

Для системы с ТС 2-го типа $m = m_2 = 1$,

$$q_{12} = \frac{1 - \rho_1^2}{1 - \rho_1^3} = \frac{1 + \rho_1}{1 + \rho_1 + \rho_1^2}. \quad (1'')$$

При наличии в УПП ТП (поз. 13 – 18 на рис. 1) с возможностью перемещения посылок от каждого ТС к каждому КР рассматриваемый участок автоматизированной линии с некоторым приближением можно представить как многоканальную СМО с ожиданием при ограниченном m . Относительная пропускная способность такой СМО определяется по формуле [8]

$$q_n = 1 - P_{n \text{ отк}} = 1 - \frac{\rho_n^{n+m}}{n^m \cdot n!} \cdot P_o, \quad (2)$$

$$\text{где } P_o = \left[1 + \frac{\rho_n}{1!} + \frac{\rho_n^2}{2!} + \dots + \frac{\rho_n^n}{n!} + \frac{\rho_n^n}{n!} \cdot \frac{\frac{\rho_n}{n} - \left(\frac{\rho_n}{n} \right)^{m+1}}{1 - \frac{\rho_n}{n}} \right]^{-1}, \quad (3)$$

n – число каналов (КП, КР); для УПП, изображенного на рис.1, $n = 5$;

$\lambda_n = \lambda_5 = 2\lambda_1$ – интенсивность потока требований на укладку посылок в контейнеры, поступающих с обоих ТС; $\rho_n = \lambda_n / \mu_1 = 2\lambda_1 / \mu_1 = 2\rho_1$.

Для системы с ТС 1-го типа $m = m_1 = 0$ (многоканальная СМО с отказами).
Формулы (2) и (3) имеют вид формул Эрланга:

$$q_{n1} = 1 - P_{n1 \text{ отк}} = 1 - \frac{\rho_n^n}{n!} \cdot P_{o1}, \quad (2')$$

$$P_{o1} = \left[1 + \frac{\rho_n}{1!} + \frac{\rho_n^2}{2!} + \dots + \frac{\rho_n^n}{n!} \right]^{-1}. \quad (3')$$

Для системы с ТС 2-го типа нижняя граница относительной пропускной способности может быть оценена по формулам (2), (3) при $m = m_2 = 1$.

Сравнительная оценка относительной пропускной способности УПП, выполненного по традиционной схеме, в которой посылки от ТС при помощи КП передаются на рабочие места укладки в контейнеры, количество которых соответствует количеству ТС, а КП между собой не соединяются, и по предлагаемой схеме (рис. 1), в которой количество рабочих мест укладки посылок в контейнеры (КР) превышает количество ТС, а КП коммутируются между собой посредством ТП, обеспечивая тем самым полнодоступность КР, для ТС 1-го и 2-го типов при $\rho_1 = 1$ и $\rho_5 = 2$, представлена в таблице. Результаты расчетов показывают, что при использовании УПП, выполненного по схеме, изображенной на рис.1, его относительная пропускная способность существенно увеличивается.

Таблица

Сравнительная оценка относительной пропускной способности УПП

Тип ТС	Относительная пропускная способность УПП, выполненного по схеме	
	традиционной (2 КР, поз. 3, 4 на рис.1; 2 КР поз. 8, 9 на рис.1, не соединяются между собой посредством ТП), $\rho_1 = 1$	предлагаемый (5 КР, поз. 3-7 на рис.1; 5 КР, поз. 8-12 на рис.1, соединяются между собой посредством ТП), $\rho_5 = 2\rho_1 = 2$
1 ($m = m_1 = 0$)	$q_{11} = 0,5$	$q_{51} = 0,963$
2 ($m = m_2 = 1$)	$q_{12} = 0,667$	$q_{52} = 0,986$

Выводы

1. Благодаря тому, что в рассмотренном УПП и его возможных модификациях [6] число КП превышает число ТС и обеспечена возможность перемещения посылок от каждого ТС к каждому КР, для укладки посылок в контейнер могут быть использованы не только КР, непосредственно связанные с ТС соответствующим КП, но и другие КР, не работающие в момент поступления требования на разгрузку ТС, уменьшается время ожидания укладки посылок, находящихся на ТС, и тем самым повышается пропускная способность УПП.
2. При выходе из строя или временной остановке одного или нескольких КР автоматизированная линия сохраняет возможность функционирования в полном объеме, хотя и с меньшей пропускной способностью, при меньшем числе КР. Кроме того, в периоды уменьшения нагрузки на линию появляется возможность проведения профилактических работ, связанных с остановкой КР, без остановки работы линии.
3. Длина УПП зависит от числа КП и соответствующего числа ТП и не зависит от числа посылок и интервала между ними, накапливаемых на ТС. Поэтому при размере накапливаемой партии порядка 30-40 посылок (емкость накопителя сортировочной установки, контейнера, паллеты) и шаге их расположения на ТС порядка 1 м происходит экономия длины УПП по сравнению с использованием КП в качестве буферных накопителей.

4. В качестве рабочих органов, как КП, так и ТП могут быть использованы транспортерная лента, рольганговое полотно, пластинчатое полотно в различных комбинациях.
5. Конфигурация КП и ТП может отличаться от прямолинейной в зависимости от расположения КР в помещении и характеристики помещения (сетка колонн, другие препятствия и ограничения).
6. Проведённые исследования указывают на целесообразность создания и применения рассмотренного УПП в автоматизированных линиях сортировки посылок.

Литература

1. Барсук И.В. Определение необходимого числа роботизированных комплексов загрузки посылок в контейнеры в автоматизированной линии сортировки посылок // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2012. – № 2, – Т. 17. – С. 64 – 66.
2. Барсук И.В., Попова Е.С. Роботизированный комплекс загрузки посылок в контейнеры // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2012. – № 2, – Т. 17. – С. 67 – 73.
3. Барсук И.В. О целесообразности разработки и создания роботизированного комплекса загрузки посылок в контейнеры // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. □ 2012. □ №1. □
4. Барсук И.В. Управление сортировочной установкой с укладкой штучных грузов в контейнеры // Логистика. – 2014. – № 1. □ С. 18– 20.
5. Барсук И.В. Управление сортировочной установкой с автоматической укладкой посылок в контейнеры // Т-Comm. – 2014. – № 3. □ С. 23– 27.
6. Барсук И.В., Попова Е.С. Устройство транспортирования штучных грузов от сборных транспортёров к устройствам укладки грузов в тару. Патент РФ № 2572474 // Бюллетень изобретений. – 2016. – № 1.
7. Барсук И.В. Расчёт кинематических параметров роботизированного комплекса загрузки посылок в контейнеры // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2012. – № 2. – Т. 17. – С. 74 – 78.
8. Трухан А.А., Кудряшев Г.С. Теория вероятностей в инженерных приложениях: Учебное пособие. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2015. – 368 с.