

В.Н. Коротаев, Д.Л. Борисов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

**ОСНОВНЫЕ ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ
ЗАТРАТ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ЛИНИЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ
СОРТИРОВКИ НА ПРИМЕРЕ РАБОТЫ ЛАБОРАТОРНОГО
КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКОЙ
СОРТИРОВКИ ОТХОДОВ**

Технология автоматической сортировки твердых бытовых отходов обладает рядом неоспоримых преимуществ по сравнению с ручной – высокие производительность и эффективность сортировки, возможность удаления из потока твердых бытовых отходов опасных материалов. Но данные преимущества могут быть нивелированы при нерациональном использовании энергетических ресурсов и без учета требований к входящему потоку отходов.

В статье рассмотрены пути повышения энергоэффективности линии автоматической сортировки на примере работы лабораторного комплекса оборудования оптико-механической сортировки отходов, функционирующего на базе кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, ручная сортировка, автоматическая сортировка, энергоэффективность.

V.N. Korotaev, D.L. Borisov

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

**MAIN WAYS OF COSTS ENERGY OPTIMIZATION
FOR AUTOMATIC SORTING LINES ON THE EXAMPLE
OF THE OPTOMECHANICAL WASTE SORTING
LABORATORY COMPLEX**

The technology of municipal solid waste automatic sorting has a number of advantages with respect to the manual. There are high productivity and sorting efficiency, the ability to remove hazardous materials from the MSW flow. But these benefits can be reduced by irrational energy resources using and absence of regard to the requirements of the input waste flow.

The article discusses ways to increase the energy efficiency of automatic sorting lines on the example of the opto-mechanical waste sorting laboratory complex, which functions on the Environmental Protection Department Perm National Research Polytechnic University.

Keywords: municipal solid waste, manual sorting, automatic sorting, energy efficiency.

Линии автоматической сортировки твердых бытовых отходов (ТБО), основанные на применении оборудования оптического распозна-

вания и механической сепарации, на данный момент являются наиболее перспективными. Причины этого заключаются в следующих аспектах:

- обеспечение производительности процесса сортировки, соответствующей объему образования отходов;
- выход получаемого продукта достигает 90–95 % (для сравнения: ручная сортировка обеспечивает 20–25 %);
- технология обеспечивает распознавание опасных компонентов, например ПВХ [1].

Однако достижение таких высоких показателей связано с определенными сложностями при эксплуатации данных линий.

Во-первых, автоматизация любого технологического процесса гарантирует увеличение затрат на энергоресурсы, причем значительное. Во-вторых, высокая чистота сортировки и полное удаление опасных примесей могут быть обеспечены только при качественной подготовке входящего потока отходов. Компоненты потока должны быть равномерно распределены по ширине конвейерной ленты, подающей материал к распознающему устройству, также должно отсутствовать перекрытие одного компонента другим.

Все вышесказанное определяет два пути оптимизации технологического процесса: оптимизация энергетических затрат и подготовка входящего потока отходов. В данной статье внимание сконцентрировано на первом.

Расчеты показывают, что промышленная линия сортировки ТБО с использованием установок оптического распознавания производительностью в 100 000 т/г будет потреблять порядка 700 кВт·ч электроэнергии. При стоимости электроэнергии для промышленных предприятий в Пермском крае в среднем 4,5 руб./кВт·ч затраты на электроэнергию будут составлять порядка 18,5 млн руб. в год (работа в две смены круглый год). Поэтому даже незначительное снижение использования первичной энергии ведет к ощутимой экономии средств. Так, снижение энергопотребления на 1 % приведет к экономии 185 000 руб. в год. В данном разделе проанализированы пути повышения энергоэффективности линии автоматической сортировки на примере лабораторного комплекса оборудования оптико-механической сортировки отходов и материалов.

В табл. 1 представлено общее энергопотребление исследовательского комплекса с разделением по агрегатам и элементам [2].

Таблица 1

Общее энергопотребление комплекса

№ п/п	Наименование элемента	Количество	Потребляемая мощность, кВт
1	Сканер оптической сортировки	1	0,5
2	Вал	1	0,18
3	Ускоряющий ленточный конвейер	1	5,5
4	Баллистический сепаратор	1	4
5	Подающий пластинчатый конвейер	1	2,2
6	Реверсивный конвейер, $b = 600$ мм	2	$2 \cdot 2,2 = 4,4$
7	Промежуточный конвейер, $b = 1000$ мм	1	2,2
8	Компрессор 18 кВт	1	18
	Итого		36,98

Доля каждого агрегата в общем энергопотреблении представлена на рис. 1.

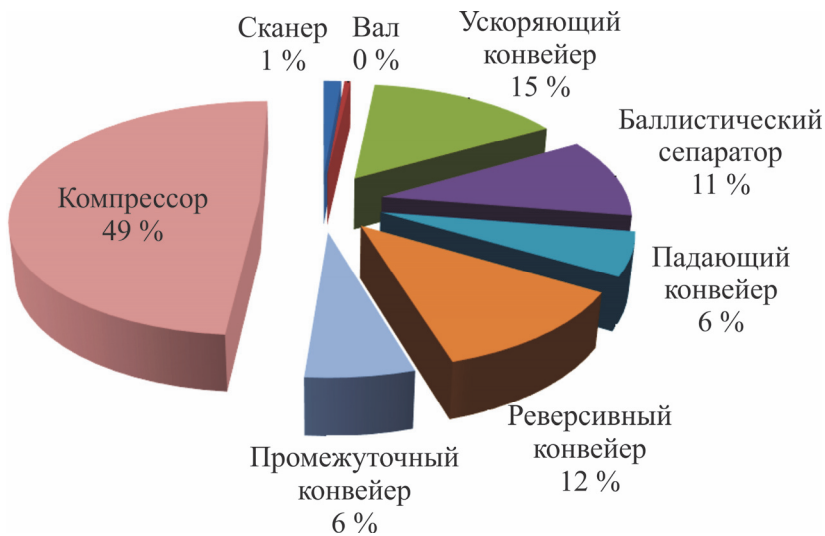


Рис. 1. Процентное соотношение энергопотребления каждого агрегата комплекса и общего энергопотребления

Из диаграммы можно заключить, что основная доля энергопотребления приходится на компрессор – 49 %, а также на ускоряющий транспортер – 15 %. При этом для данных агрегатов доступна возможность регулирования рабочих параметров. Остальное оборудование комплекса работает в номинальном режиме.

На оборудовании комплекса был проведен ряд экспериментов для выявления эффективности сортировки модельных проб компонентов в зависимости от определяющих ее факторов. Этими факторами являются давление сжатого воздуха, подаваемого блоком пневмоклапанов, и скорость ускоряющего транспортера. Каждая модельная проба состояла из 20 элементов одного из характерных компонентов потока ТБО: ПЭТ-бутылка, полимерные пакеты, дерево и фанера. Характерные компоненты выбирались с расчетом охватить весь спектр физических и геометрических свойств отходов, влияющих на эффективность сепарации: масса элемента, площадь поверхности, неправильность геометрической формы. Результаты экспериментов представлены в табл. 2–4.

Анализ представленных данных показывает, что чистота сортировки в 90 % обеспечивается значением давления нагнетания блока пневмоклапанов на уровне 0,25–0,3 МПа. Учитывая потери на транспортирование воздуха от компрессора к блоку клапанов, отметим, что значение давления нагнетания компрессора будет оптимальным на уровне 0,4–0,45 МПа.

Таблица 2

Эффективность воздушной сепарации пробы «ПЭТ-бутылка»

Эффективность сепарации, %		Давление, МПа			
		0,15	0,20	0,25	0,30
Скорость конвейера, м/с	1,0	55	88	93	≥95
	1,5	72	87	≥95	≥95
	2,0	57	72	≥95	≥95
	2,5	35	75	92	≥95
	3,0	52	77	93	90

Таблица 3

Эффективность воздушной сепарации пробы «полимерный пакет»

Эффективность сепарации, %		Давление, МПа			
		0,15	0,20	0,25	0,30
Скорость конвейера, м/с	1,0	≥95	≥95	≥95	≥95
	1,5	93	≥95	≥95	≥95
	2,0	82	82	80	83
	2,5	45	85	72	83
	3,0	35	28	43	42

Эффективность воздушной сепарации проб «дерево» и «фанера»

Бруски дерева (5×8 см, 35 г)					
Эффективность сепарации, %		Давление, МПа			
		0,15	0,20	0,25	0,30
Скорость конвейера, м/с	1,0	≤5	≤5	≤5	≤5
	1,5	≤5	≤5	45	68
	2,0	≤5	7	92	≥95
	2,5	≤5	28	90	≥95
	3,0	≤5	28	72	≥95
Листы фанеры (5×8 см, 20 г)					
Эффективность сепарации, %		Давление, МПа			
		0,15	0,20	0,25	0,30
Скорость конвейера, м/с	1,0	≤5	12	≤5	10
	1,5	42	70	70	82
	2,0	42	≥95	≥95	≥95
	2,5	75	≥95	≥95	≥95
	3,0	83	≥95	≥95	≥95

Компрессоры с обычной регулировкой «загрузка/разгрузка» работают в интервале заданных значений давлений. Другими словами, в пики нагрузки давление и потребляемая мощность соответствуют внешним условиям, но при снижении нагрузки двигатель все равно потребляет энергию на уровне минимального установленного давления (рис. 2).

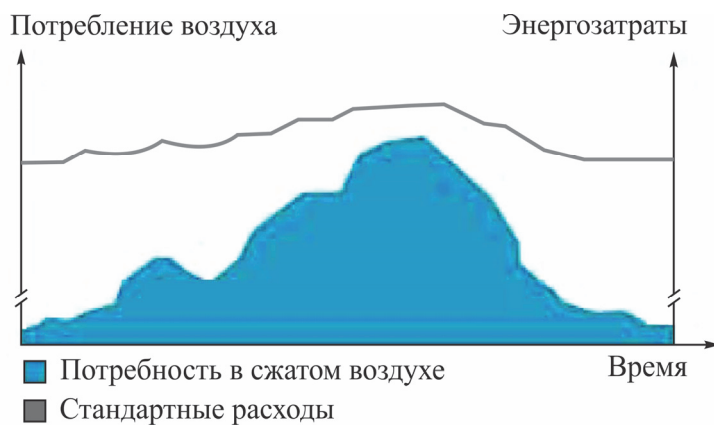


Рис. 2. Стандартные энергозатраты компрессора [3]

С другой стороны, поток сортируемых отходов характеризуется крайней неравномерностью состава. Поэтому прогноз колебания расхода сжатого воздуха на «отстрел» является чрезвычайно трудной задачей. Так, при повышенном расходе воздуха из-за высокой загрузки ленты ускоряющего транспортера оптимизированной величины давления в 0,45 МПа может быть недостаточно для качественного «отстрела» компонентов.

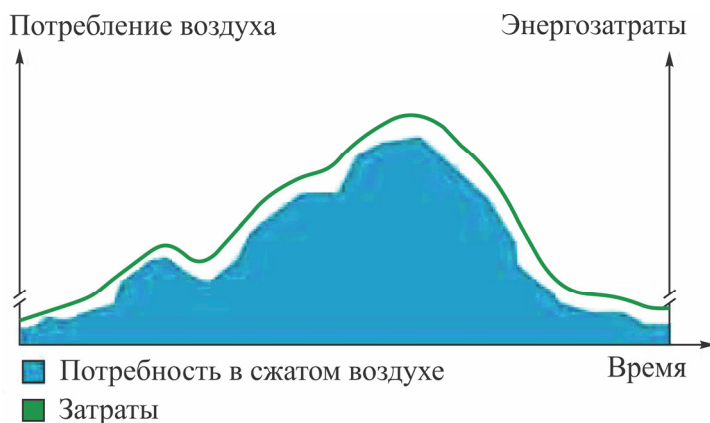


Рис. 3. Затраты на энергию при регулировании [3]

Поэтому общей рекомендацией при подборе компрессорного оборудования для линий оптико-механической сортировки является оснащение линии компрессором с возможностью электронного регулирования давления нагнетания в зависимости от внешней нагрузки. Данная рекомендация позволит сократить потребление электроэнергии за счет снижения рабочего давления (на величину 40 % от номинального значения) и за счет более экономичной работы на холостом ходу (рис. 3). Расчетный уровень экономии энергии – 30 %.

Рис. 1 показывает, что вторым по уровню затрат на энергию элементом в составе комплекса является ускоряющий транспортер. Этот элемент является одним из ключевых в линиях оптико-механической сортировки. Он призван придать высокую кинетическую энергию компонентам ТБО для того, чтобы был произведен качественный «отстрел» блоком клапанов. Экспериментальные данные показывают (см. табл. 2–4), что многое зависит от физических и геометрических свойств компонентов отходов. Так, например, для пленок и бумаги, которые характеризуются очень низкой массой и большой контактной поверхностью, высокая скорость конвейера чревата отсутствием сцеп-

ления с конвейерной лентой. Как следствие, присутствует относительное движение компонента ТБО перпендикулярно оси конвейера, что приводит к несоответствию места открытия дюз и места расположения компонента. Для таких материалов чистота сортировки обеспечивается на уровне 90 % при скорости не более 1,5 м/с (см. табл. 3). Для таких же компонентов, как ПЭТ-бутылка, дерево, фанера, которые обладают большей массой, наоборот, показатель чистоты сортировки в 90 % достигается при скорости, равной или большей 2 м/с.

Таким образом, скорость ускоряющего конвейера 2 м/с является оптимальной для смешанного потока ТБО, поскольку в таком потоке относительное перпендикулярное движение плоских летучих составляющих нейтрализуется другими компонентами. Скорость конвейера может регулироваться в пределах от 0,9 до 3,6 м/с, причем номинальный режим подразумевает скорость конвейера 3,2 м/с при потреблении 5,5 кВт мощности. Таким образом, ограничение скорости до 2 м/с позволит снизить мощность привода до 3,4 кВт. Уровень экономии будет соответствовать 38 %.

Данные по энергопотреблению после оптимизации представлены в табл. 5.

Таблица 5

Общее энергопотребление комплекса после оптимизации

№ п/п	Наименование элемента	Количество	Потребляемая мощность, кВт
1	Сканер оптической сортировки	1	0,5
2	Вал	1	0,18
3	Ускоряющий ленточный конвейер	1	3,4
4	Баллистический сепаратор	1	4
5	Подающий пластинчатый конвейер	1	2,2
6	Реверсивный конвейер, $b = 600$ мм	2	$2 \cdot 2,2 = 4,4$
7	Промежуточный конвейер, $b = 1000$ мм	1	2,2
8	Компрессор 18 кВт	1	12,6
		Итого	29,54

В ходе исследования проведен анализ энергопотребления оборудования, входящего в состав лабораторного комплекса оптико-механической сортировки отходов, на основе которого определены наиболее энергоемкие агрегаты – компрессор и ускоряющий транспортер.

Для каждого из них представлены способы повышения энергоэффективности. Для компрессора определено оптимальное значение давления нагнетания в зависимости от типа сортируемого материала. С учетом смешанного характера потока отходов оно составит 0,4–0,45 МПа. Для ускоряющего конвейера определена оптимальная скорость движения ленты с позиции энергетических затрат, которая составляет 2 м/с. На основе проведенного анализа можно заключить, что применяемые пути оптимизации позволят сократить энергопотребление лабораторного комплекса в среднем на 20 % при условии использования его в качестве промышленной сортировочной линии смешанного потока ТБО.

Список литературы

1. Исследования морфологического состава модельных проб ТБО с использованием оптико-механической сортировки / Г.В. Ильиных, Д.Л. Борисов, С.В. Польшгалов, Я.В. Базылева // Экология и промышленность России. – 2014. – № 4. – С. 24–28.

2. Основные направления исследований с применением комплекса оборудования глубокой оптико-механической сортировки потоков отходов и материалов / К. Вюнш, Я.И. Вайсман, В.Н. Коротаев, Д.Л. Борисов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2013. – № 2. – С. 28–37.

3. Каталог оборудования компании Atlas Copco «Винтовые маслосмазываемые компрессоры GA11+-30/ GA18-30 VSD®» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.vecgroup.com/files/rew/4/GA%2011+-30%20VSD.pdf> (дата обращения: 03.11.2014).

References

1. Il'inykh G.V., Borisov D.L., Polygalov S.V., Bazyleva Ia.V. Issledovaniia morfologicheskogo sostava model'nykh prob TBO s ispol'zovaniem optiko-mekhanicheskoi sortirovki [Studies of the morphological composition of solid waste model samples using the optical-mechanical sorting]. *Ekologiia i promyshlennost' Rossii*, 2014, no. 4, pp. 24-28.

2. Viunsh K., Vaisman Ia.I., Korotaev V.N., Borisov D.L. Osnovnye napravleniia issledovaniia s primeneniem kompleksa oborudovaniia glubokoi optiko-mekhanicheskoi sortirovki potokov otkhodov i materialov [Main research areas using of Complex for optical-mechanical sorting of waste and materials]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhni-*

cheskogo universiteta. Okhrana okruzhaiushchei sredy, transport, bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti, 2013, no. 2, pp. 28-37.

3. Katalog oborudovaniia kompanii Atlas Copco “Vintovye maslosmazываемые компрессоры GA11+-30/GA18-30 VSD®” [Catalogue of Atlas Copco “The screw oil-injected compressors GA11+-30/GA18-30 VSD®”], available at: <http://www.vecgroup.com/files/rew/4/GA%2011+-30%20VSD.pdf> (accessed 03 November 2014).

Получено 14.11.2014

Сведения об авторах

Коротаев Владимир Николаевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды», проректор по науке и инновациям Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: korotaev@pstu.ru).

Борисов Дмитрий Леонидович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: d-borisov@mail.ru).

About the authors

Korotaev Vladimir Nikolaevich (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Environmental Protection, Vice-rector for Science and Innovations, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: korotaev@pstu.ru).

Borisov Dmitrii Leonidovich (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: d-borisov@mail.ru).