

Разработка анализатора морфологического состава твердых коммунальных отходов

Т.Г. Середя¹, С.Н. Костарев²

¹ *Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова*

² *Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации*

Аннотация: Для проектирования автоматизированных сортировочных станций твердых коммунальных отходов необходима разработка алгоритмов и приборов, позволяющих с необходимой детализацией определять фракции ТКО. В настоящее время созданы сортировочные станции, позволяющие определять основные морфологические компоненты ТКО, но проблема углубленной детализации нуждается в проработке. Показана методика синтеза устройства по определению фракций отходов. В качестве алгоритма сортировки предложено использовать конечный последовательностный автомат. Синтезированы логические уравнения на основе автомата Мура. Симуляция работы устройства проведена с помощью программы MULTISIM. При наличии определенных датчиков возможна реализация данной методики на практике. Результаты могут быть полезны для проектирования сортировочных станций ТКО.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, ТКО, сортировка, последовательностный автомат, автомат Мура.

В рамках работ проводимых для определения морфологического состава твердых коммунальных отходов (ТКО) [1], было выявлено, что в составе ТКО содержатся органические отходы, значительную часть составляют полимеры, стекло, макулатура и другие компоненты. В настоящее время актуальной становится задача разработки автоматизированной системы сортировки отходов для извлечения вторичного сырья [2–4]. Проблема образования, утилизации и комплексной переработки ТКО является комплексной задачей, затрагивающей экономические, технологические и системные процессы [5–7]. Обоснованию методик по расчету нормативов потоков ТКО посвящена работа [8]. Обоснование экономической эффективности процесса сортировки отходов описано в статье [9].

Целью работы является разработка алгоритма по извлечению фракций ТКО с возможностью регулирования компонентного состава отходов.

Модель структуры компонентов ТКО можно представить в виде дерева (рис. 1). Для упрощения решения задачи разработки анализатора

ограничимся входным массивом из 2 бит, тогда по мере Хартли можно получить до 4 компонентов отходов. Показатели компонентов в составе исследованных ТКО в соответствии с проведенными исследованиями [1] приведены в таблицах 1-3. В таблице № 1 показаны основные потоки ТКО, которые можно разделить на вторсырье и хвосты, идущие на захоронение.

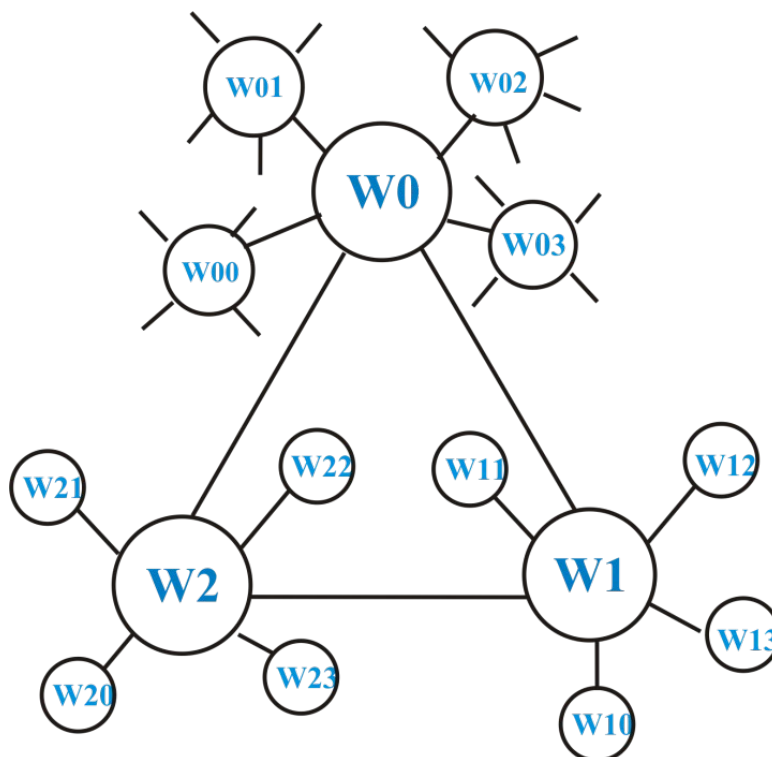


Рис. 1. – Структура морфологического состава ТКО

Таблица № 1

Основные потоки ТКО

Код	k_2k_1	Потоки	Мнемоника
0	0 0	Вторсырье	W0
1	0 1	На полигон	W1
2	1 0	Резерв	W2

Некоторые компоненты вторсырья опишем ветками дерева (таблица № 2).

Таблица № 2

Основные компоненты ТКО

Код	k_2k_1	Компонент	Мнемоника
0	0 0	Макулатура	W_{00}
1	0 1	Полимеры	W_{01}
2	1 0	Стекло	W_{02}
3	1 1	Комбинированные материалы	W_{03}

Стекло, например, далее сортируется по цвету и по типу (таблица № 3).

Таблица № 3

Сортировка стекла

Код	k_2k_1	Компоненты стекла	Мнемоника
0	0 0	Стеклотара прозрачная	W_{010}
1	0 1	Стеклотара зеленая или синяя	W_{011}
2	1 0	Стеклотара темная	W_{012}
3	1 1	Прочее стекло	W_{013}

С возможной детализацией других компонентов ТКО можно ознакомиться в работе [1]. С точки построения анализатора ТКО, детализацию компонентов вторсырья, можно осуществить синтезом последовательностного автомата [10, 11]. Рассмотрим задачу построения анализатора на фракцию «Прочее стекло», что представляет код 0-2-3. Первичная таблица переходов-выходов (таблица № 4) содержит (устойчивый) код для определения искомого компонента (ТКО1), а также другие коды, описывающие другие фракции (ТКО2) [4].

Таблица № 4

Первичная таблица переходов

Такт	Код				Анализ	
	k ₂ k ₁				Искомая фракция, ТКО1	ТКО2
	00	01	11	10		
1	1	4		2	0	0
2			3	2	0	0
3		4	3		1	0
4	5	4			0	1
5	5				0	1

Минимизированная таблица переходов получена с использованием объединения строк (таблица № 5).

Таблица № 5

Сжатая таблица переходов

Объединение строк	k ₂ k ₁			
	00	01	11	10
1, 2, 3	1	4	3	2
4, 5	5	4		

Таблица переходов-выходов (таблица № 6) синтезирована на основе автомата Мура [5].

Таблица № 6

Таблица переходов-выходов

y(t)	k ₂ k ₁				
	00	01	11	10	
0	$\frac{0}{00}$	$\frac{1}{01}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{00}$	$\frac{y(t+1)}{ТКО^1ТКО^2}$
1	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$			

Далее разобьем таблицу № 6 на две таблицы: управление триггером и фракций ТК0. Для упрощения логических уравнений можно воспользоваться методом Карно-Вейча и получить минимальную дизъюнктивную форму (таблица № 7).

Таблица № 7

Синтез уравнения триггера (y)

y(t)	k ₂ k ₁			
	00	01	11	10
0	0	1	1	1
1	1	1	1	1

$$y(t+1) = y(t) \vee k_2 \vee k_1$$

Синтез уравнения искомой фракции представлен в таблице № 8.

Таблица № 8

Синтез уравнения искомой фракции

y(t)	k ₂ k ₁			
	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	1	1	1	1

$$TKO1 = y(t) \vee k_2 k_1$$

Также было получено уравнение для ложного поиска фракции

$$TKO2 = k_2 \bar{k}_1 \vee \bar{k}_2 k_1$$

Симуляция решения получена с помощью программы MULTISIM (рис. 2–4), где последовательно введен код 0-2-3.

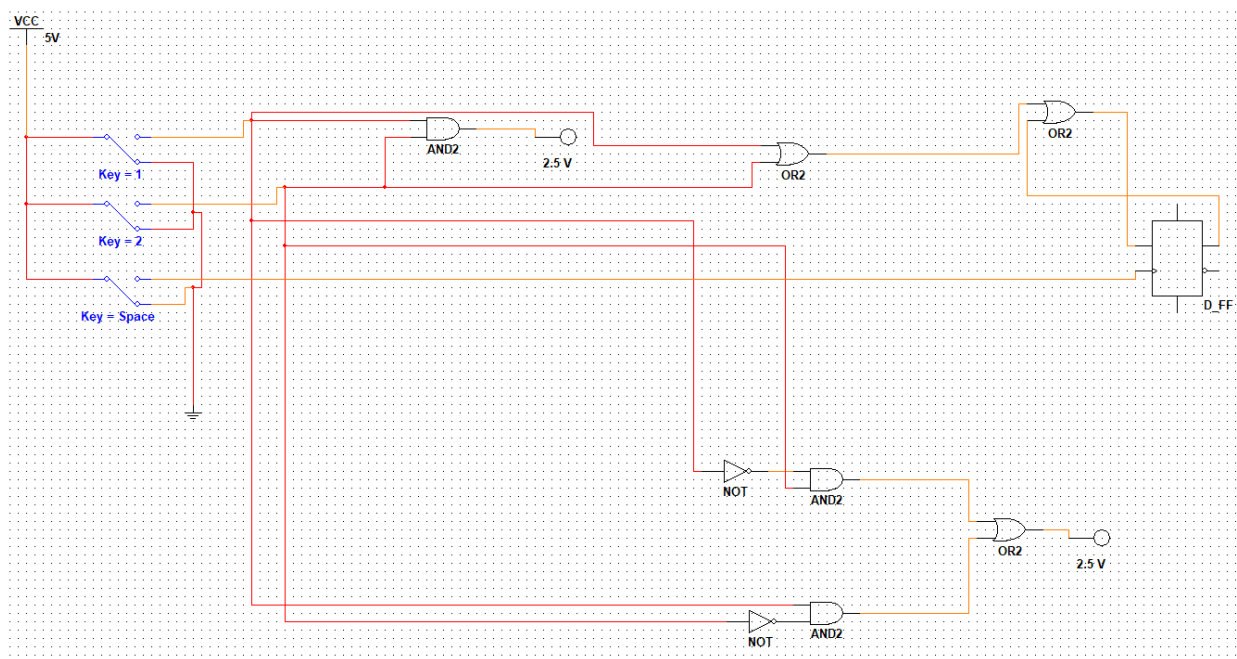


Рис. 2. – Поступил код 0, ожидание следующего такта

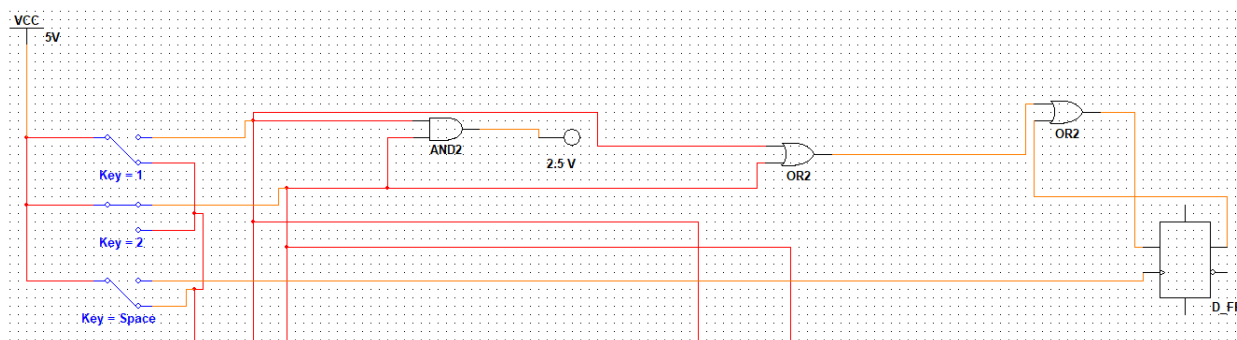


Рис. 3. – Поступил код 2, ожидание следующего такта

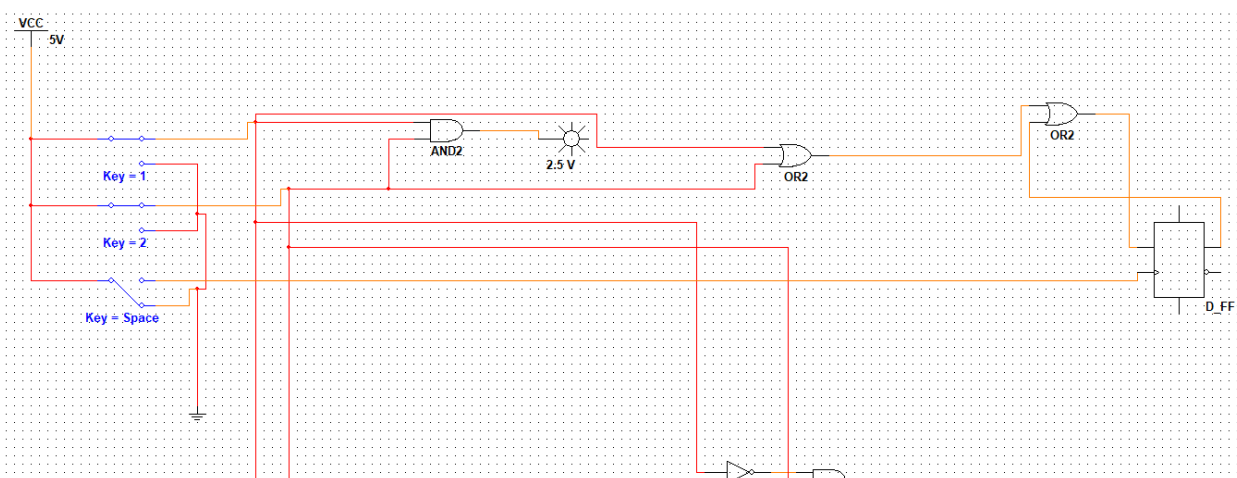


Рис. 4. – Поступил код 3, включился индикатор анализа искомой фракции
«Прочее стекло»

Заключение

Результаты эксперимента продемонстрировали, что с помощью методики синтеза последовательностного автомата можно разработать анализатор для определения уточненных фракций отходов. Для внедрения на практике необходимо иметь определенные анализаторы для определения компонентов ТКО, что может способствовать более детальной сортировке ТКО при проектировании сортировочных станций.

Литература

1. Серeda Т.Г., Костарев С.Н. Анализ фракционного и морфологического состава твердых коммунальных отходов на примере Пермского края // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2024. № 1(28). С. 109-117. DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.011. EDN SUHMWI.
2. Евстигнеева А. К. Необходимость селективного сбора ТКО в России и зарубежный опыт обращения с ТКО // Актуальные проблемы современной науки. 2020. № 1(110). С. 70-72. EDN QRRMUU.
3. Sereda T.G., Kostarev S.N. Development of automated control system for waste sorting // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. T. 537 (6). P. 062012.
4. Козлов С.А., Смаженко М.И. Автоматическая сортировка ТКО: новый комплекс в Испании // Твердые бытовые отходы. – 2024. – № 10(220). – С. 47-49. – EDN CURGWP.
5. Khankelov T., Askarkhodzhaev T., Mukhamedova N. Determination of key parameters of a device for sorting municipal solid waste // Journal of Critical Reviews. 2020. Vol. 7, No. 4. pp. 27-33. DOI 10.31838/jcr.07.04.07. EDN ILSGRG.

6. Серeda Т.Г., Костарев С.Н. Системный подход к проектированию и строительству инженерных сооружений полигонов твердых коммунальных отходов. Москва; Вологда: Инфра-инженерия, 2019. 324 с.
7. Ищенко А.В., Твердохлебова Е.А. Обзор современных технологий утилизации отходов строительного производства // Инженерный вестник Дона. 2024. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9083
8. Соколова Г.Н., Скорик Т.А. Особенности расчетов нормативов образования отходов производства и потребления // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2108
9. Волосникова Г.А., Чурилова Ю.С. Обоснование экономической эффективности процесса сортировки твердых коммунальных отходов // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2021. № 1 (60). С. 185-194.
10. Волков А.В. Метод оптимизации структуры последовательностного автомата // Вестник РАЕН. 2018. Т. 18, № 3. С. 47-50. EDN XRELZB.
11. Климович А.С., Соловьев В.В. Метод минимизации конечных автоматов типа Мура путем склеивания двух состояний // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2011. № 6. С. 52. EDN ONFRYB.

References

1. Sereda T.G., Kostarev S.N. Zhilishchnoe hozyajstvo i kommunal'naya infrastruktura. 2024. No. 1(28). pp. 109-117.
 2. Evstigneyeva A.K. Aktualnye problemy sovremennoy nauki. 2020. No. 1(110). pp. 70-72.
 3. Sereda T.G., Kostarev S.N. Development of automated control system for waste sorting. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. T. 537 (6). P. 062012.
-



4. Kozlov S.A., Smazhenko M.I. Tverdyye bytovyye otkhody. 2024, No. 10 (220). pp. 47–49.
5. Khankelov T., Askarkhodzhaev T., Mukhamedova N. Journal of Critical Reviews. 2020. Vol. 7, No. 4. pp. 27–33. DOI 10.31838/jcr.07.04.07.
6. Sereda T.G., Kostarev S.N. Sistemnyj podhod k proektirovaniyu i stroitel'stvu inzhenernyh sooruzhenij poligonov tverdyh kommunal'nyh othodov [System approach to design and construction of engineering structures of solid municipal waste landfills]. Moskva; Vologda: Infra-Inzheneria, 2019. 324 p.
7. Ishchenko A.V., Tverdokhlebova E.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9083
8. Sokolova G.N., Skorik T.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2014, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2108
9. Volosnikova G.A., Churilova Y.S. Vestnik Tihookeanskogo gosudarstvennogo universiteta. 2021, No. 1 (60). pp. 185-194.
10. Volkov A.V. Vestnik RAEN. 2018. T. 18, No. 3. pp. 47-50. EDN XRELZB.
11. Klimovich A.S., Solov'ev V.V. Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya. 2011. No. 6. P. 52. EDN ONFRYB.

Дата поступления: 23.12.2025

Дата публикации: 1.02.2025