

## ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 331.45; 519.178

### ПРОГРАММА ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ТРЕБОВАНИЙ ОХРАНЫ ТРУДА

*В.А. ДРОНЧЕНКО, Т.С. СТРУК, канд. физ.-мат. наук, доц. О.В. ГОЛУБЕВА  
(Полоцкий государственный университет)*

*Дана оценка уровня использования промышленных отходов, сбора отработанных масел. Предложен технологический процесс переработки и утилизации жидких нефтесодержащих отходов, в основе которого лежит приготовление эмульсии типа «вода в масле» при помощи пневматического излучателя с последующим использованием последней в качестве добавки к основному топливу, сжигаемому в котельных. Представлены алгоритм поиска оптимального технологического процесса термической утилизации нефтесодержащих отходов, основанный на применении теории графов, который включает два этапа: поиск длины кратчайшего пути и его построение, а также компьютерную программу, автоматизирующую данный процесс.*

**Ключевые слова:** нефтесодержащие отходы, охрана труда, защита окружающей среды, утилизация, поиск оптимального технического решения, динамическое программирование.

**Введение.** Сохранение жизни и здоровья населения, защита окружающей среды – важные направления социально-экономической политики Республики Беларусь. Негативным фактором деятельности производственных предприятий является рост опасных, загрязняющих окружающую среду, токсичных отходов. В стране в 2018 г. было использовано 20 106 тыс. т производственных отходов, что составило 33,1% от объема образовавшихся соответствующих отходов, в 2019 г. – 18 433 тыс. т и 30,3% соответственно [1]. Масса таких отходов при сохранении нынешних темпов увеличения через четверть века превысит 2 млрд т, что создаст огромную потенциальную угрозу для окружающей среды, несмотря на соблюдение всех нормативно установленных правил хранения и захоронения.

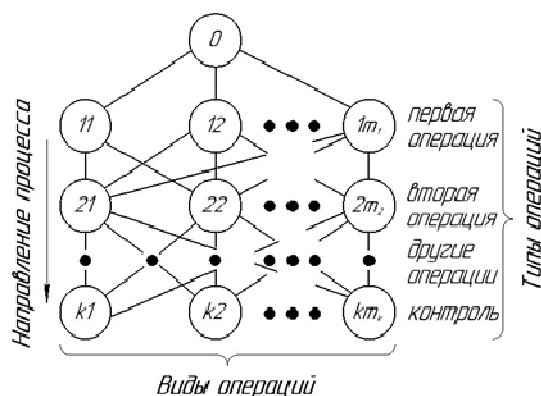
Следует отметить наметившуюся положительную тенденцию со сбором отработанных масел: в 2018 г. было собрано 16,8 тыс. т отработанных масел, в 2019 г. 18,2 тыс. т [1]. Однако учитывая то, что в стране ежегодно потребляется более 100 тыс. т промышленных и автомобильных масел, это не может считаться хорошим результатом. Если представить, что весь объем несобранных отработанных масел попадет в подземные и грунтовые воды, то он сможет загрязнить сотни миллиардов кубических метров питьевой воды до ПДК, а при пересчете на ПДК для почвы – порядка полутора миллиардов тонн почвы будут непригодны для использования по сельскохозяйственному назначению.

Минимизации рисков возникновения таких экологических опасностей можно достичь путем разработки технических решений по утилизации конкретных отходов, что и составляет актуальность представленной работы, направленной на поиск приемлемого решения утилизации нефтесодержащих отходов (НСО) участка по разборке и очистке технологического оборудования. В Полоцком государственном университете разработана технология переработки и утилизации жидких нефтесодержащих отходов [2–4], на примере которой показаны возможности разработанной программы поиска оптимального технологического процесса утилизации НСО.

**Основная часть.** В разработанном технологическом процессе могут быть использованы только те отходы, которые согласно [5] возможно использовать в качестве добавки к основному топливу, сжигаемому в котельных. Среди жидких отходов, образующихся во вспомогательном производстве нефтехимического комплекса, это:

- масла: моторные отработанные (код отхода – 5410202), дизельные отработанные (5410203), промышленные отработанные (5410205), трансмиссионные отработанные (5410206), загрязненные окалиной и шлаком (5411200);
- загрязненные мазуты и топливо (5410800);
- средства охлаждения и смазки (5440100);
- смесь нефтепродуктов отработанных (5412300);
- отходы от моечных машин, содержащие масла (5440901);
- некоторые другие жидкие отходы, содержащие углеводороды.

Предложен метод поиска и обоснования технических решений, связанных с охраной труда и защитой окружающей среды с учетом ограничений по безопасности и производительности труда, качеству продукции, требованиям охраны окружающей среды, отличающийся оценкой риска от использования решения, комплексностью и универсальностью [6; 7]. Выбор безопасного и эффективного технологического процесса (устройства) основан на представлении различных сочетаний операций (механизмов), составляющих этот процесс (устройство) в виде графа с помощью морфологического анализа, и поиске оптимального варианта с использованием динамического программирования [8]. Применительно к выбору оптимального технологического процесса (рисунок 1), каждый горизонтальный ряд вершин графа – подмножество технологических операций одного типа. Модель рассматривает все технологические операции, как реально существующие, так и потенциально возможные, которые могут быть использованы в процессе с учетом установленных ограничений. Потенциальное количество вариантов решения определяется как произведение  $m_1 \times m_2 \times \dots \times m_k$ , но несовместимость некоторых частей решения друг с другом сокращает их число.



1, 2, ..., k – типы операций;  $m_1, m_2, \dots, m_k$  – количество видов операций каждого типа

Рисунок 1. – Схема графа вариантов безопасного технологического процесса

Оптимизация технического решения заключается в следующем: из числа возможных типов и видов, составляющих процесс, находят такую их последовательность, которая обеспечивает установленные ограничения по безопасности и производительности труда с наименьшими затратами. На стадии структурного синтеза преимущество отдают новым техническим решениям. Наилучшее решение выявляется в результате поиска кратчайшего пути из вершины  $O$  в одну из вершин нижнего яруса графа, при этом подмножество вершин определяет соответствующую структуру процесса или оборудования.

Для автоматизации процесса поиска оптимального технического решения разработан программный продукт, основанный на алгоритме Дейкстры (нахождения кратчайшего пути), с применением объектно-ориентированного языка программирования C#. Все вершины, дуги, узлы и другие элементы графа отображены с помощью межплатформенной среды разработки Unity.

В морфологической матрице операций процесса утилизации НСО путем использования их в качестве добавки к основному топливу, сжигаемому в котельных [6; 7], тип операций обозначен арабской цифрой, а вид операций – строчной буквой русского алфавита. Для исключения влияния инфляции затраты на 1 т НСО, связанные с выполнением каждой операции, представлены в долях от денежной базовой величины (БВ). Разрабатываемый технологический процесс состоит из семи типов операций:

- 1 – накопление (возможные виды операций: 1а – непрерывное, 1в – прерывное);
- 2 – разделение воды и углеводородсодержащих отходов (2а – отстаиванием, 2в – центрифугированием);
- 3 – эмульгирование отходов (3а – ударными волнами, получаемыми при помощи пневматического излучателя, 3в – растиранием);
- 4 – предварительный подогрев эмульсии в емкости для хранения (4а – электрический, 4б – паровой, 4в – огневой);
- 5 – нагрев эмульсии перед подачей в дозатор (5а – электрический, 5б – паровой, 5в – огневой);
- 6 – подача утилизируемой эмульсии в дозатор (6а – эжекцией, 6в – насосом);
- 7 – сжигание утилизируемой эмульсии (7б – огневое).

Основными классами данной программы являются: класс контроллера графа (class GraphController : MonoBehaviour), классы вершин (class Node : MonoBehaviour) и дуг (class Line : MonoBehaviour) графа. Эти классы расширяют класс MonoBehaviour, поэтому их можно использовать как компоненты для объектов графа.

В классе контроллера графа (рисунок 2) имеется поле (graphPrefab), необходимое для создания объектов графа, использующее доступ к компоненту позиционирования – transform.

```

1: public class GraphController : MonoBehaviour
2: {
3:     private void Awake ()
4:     {
5:         if (transform.childCount != 0)
6:         {
7:             Debug.LogWarning("Warning, using debug setting,
8:                 remove the child object");
9:         }
10:        else
11:        {
12:            Instantiate (graphPrefabs [Data.Instance.currentGraph],
13:                transform);
14:        }
15:    }
16: }

```

Рисунок 2. – Класс контроллера графа (метод Awake)

Создание экземпляра объекта графа осуществляется методом Instantiate. Это общедоступный метод, полученный из класса Object, от которого неявно наследуется MonoBehaviour. Метод Instantiate клонирует любой объект и добавляет его на сцену. В качестве аргумента данный метод принимает любой объект, существующий в Unity. Таким образом, после указания в качестве аргумента graphPrefab граф появляется на сцене (рисунок 3).

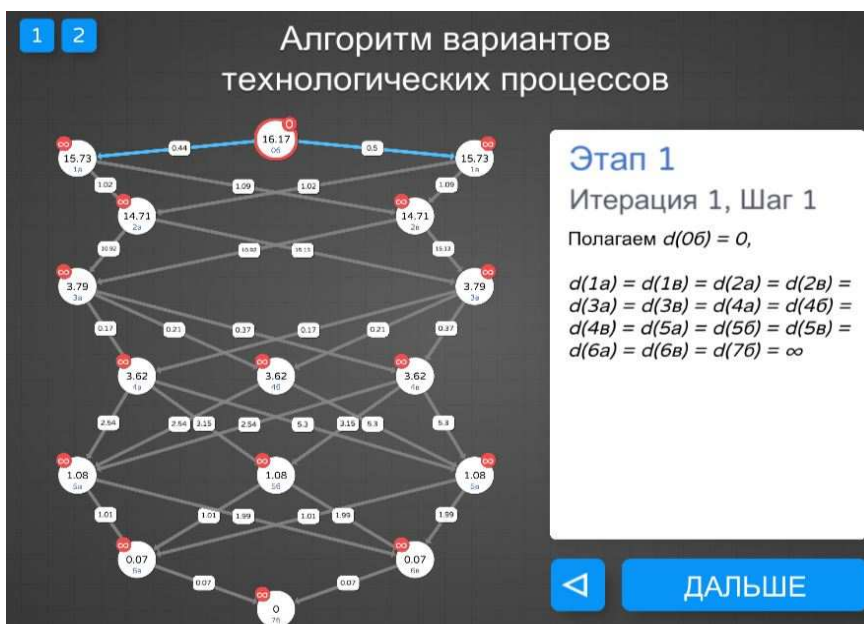


Рисунок 3. – Главное окно программы поиска оптимального технологического процесса

Сам алгоритм поиска оптимального технологического процесса включает два этапа расчетов.

На первом этапе идет поиск длины кратчайшего пути от 0 до 7 (рисунок 4), которая в исследуемом технологическом процессе выражается в БВ. Результаты расчетов, проведенных с использованием программы (рисунок 4, итерация 12, шаг 3; рисунок 4, итерация 12, шаг 4), показали, что минимальные затраты на утилизацию 1 т НСО равны 16,17 БВ.

На втором этапе устанавливается сам кратчайший путь (рисунок 5).

Из результатов расчетов, проведенных с использованием программы (рисунок 5, итерация 7, шаг 6), получен наиболее оптимальный технологический процесс утилизации НСО (программа выделила его дугами красного цвета). Он состоит из следующих операций: непрерывный процесс накопления углеводородсодержащих отходов; разделение воды и углеводородсодержащих отходов отстаиванием в емкости для сбора жидких углеводородсодержащих производственных отходов; приготовление эмульсии на основе отстоявшихся углеводородсодержащих производственных отходов с применением для генерации ударных волн пневматического излучателя; предварительный подогрев эмульсии в емкости для хранения трубчатым электронагревателем; нагрев эмульсии непосредственно перед подачей в дозатор трубчатым электронагревателем; подача утилизируемой эмульсии в дозатор эжекцией; предварительный и основной нагрев материала (электрический); сжигание утилизируемой эмульсии в топке котла.

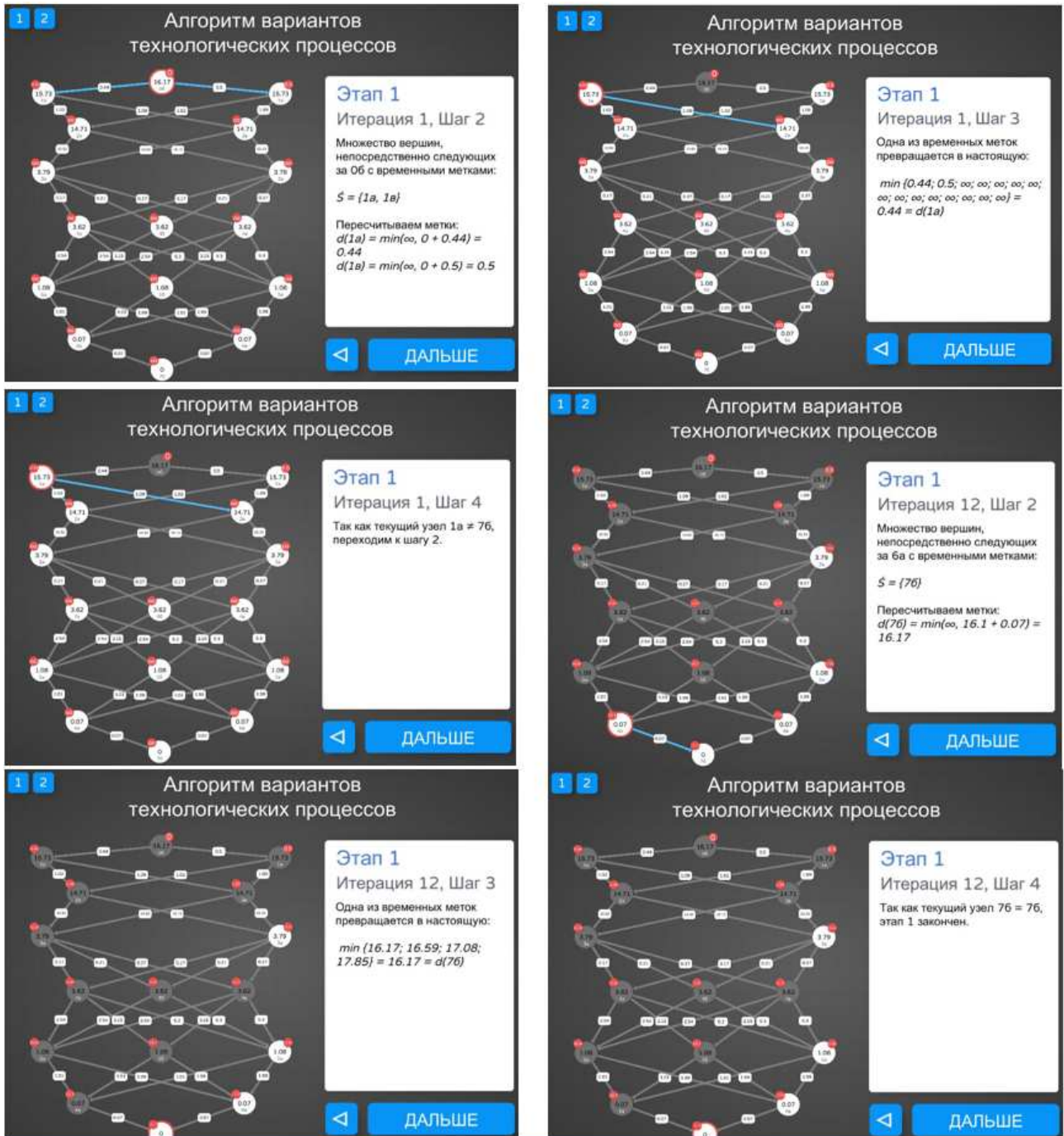


Рисунок 4. – Этап 1 (поиск длины кратчайшего пути)

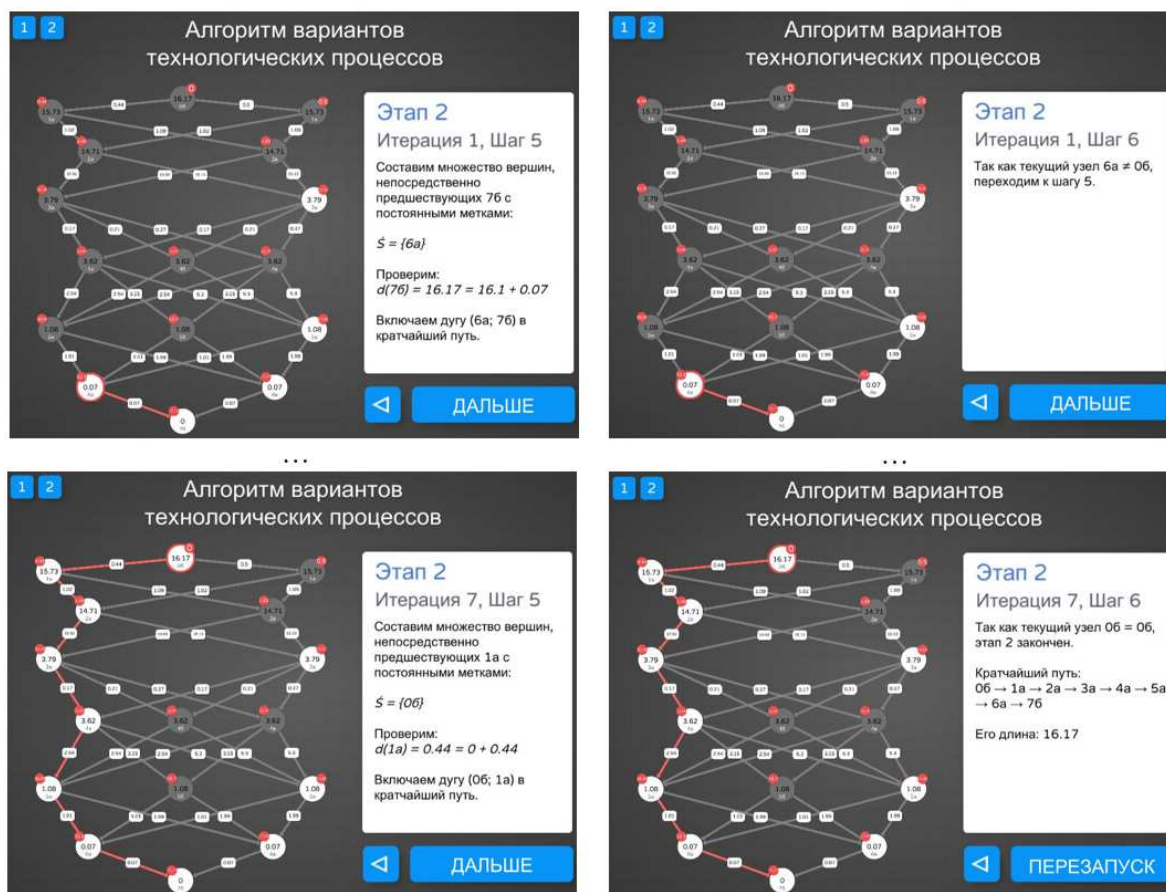


Рисунок 5. – Этап 2 (построение кратчайшего пути)

**Заключение.** На основании проведенных исследований теоретических и экспериментальных данных предложены алгоритм и программа разработки процесса утилизации нефтесодержащих отходов. Полученные результаты могут быть использованы:

- для разработки и оптимизации других технологических процессов утилизации жидких углеводородсодержащих отходов, например, путем приготовления на их основе эмульсии, используемой в качестве антиадгезионного покрытия форм при производстве железобетонных изделий [6; 9];
- обработки массивов данных, содержащих большое количество типов и видов операций, что позволит автоматизировать процесс оптимизации технических решений в различных отраслях промышленности;
- получения технических решений, учитывающих ограничения по нормативным требованиям безопасности труда, охраны окружающей среды, с наименьшей себестоимостью технологического процесса производства различной продукции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь : стат. сб. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2020. – 204 с.
2. Дронченко, В.А. Защита окружающей среды от вредного воздействия отработанных растворов, образующихся при погружной очистке машин и деталей / В.А. Дронченко, В.И. Семенов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2017. – № 8. – С. 194–199.
3. Иванов, В.П. Утилизация нефтесодержащих сточных вод эмульгированием и сжиганием / В.П. Иванов, В.А. Дронченко, Т.В. Вигерина, С.В. Пилипенко // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 1. – С. 27–33.
4. Иванов, В.П. Использование нефтесодержащих отходов в качестве добавки к топливу, сжигаемому в паровом котле / В.П. Иванов, В.А. Дронченко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2016. – № 16. – С. 178–183.
5. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила использования углеводородсодержащих отходов в качестве топлива : ТКП 17.11-01-2009 (02120). – Введ. 03.03.2009. – Минск : Минприроды, 2009. – 16 с.
6. Иванов, В.П. Охрана труда рабочих и защита окружающей среды от вредного влияния нефтесодержащих отходов / В.П. Иванов, В.А. Дронченко. – Новополоцк : ПГУ, 2016. – 248 с.

7. Иванов, В.П. Выбор технического решения по утилизации нефтесодержащих отходов / В.П. Иванов, В.А. Дронченко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – № 11. – С. 120–124.
8. Гринченков, Д.В. Математическая логика и теория алгоритмов для программистов : учеб. пособие для вузов / Д.В. Гринченков, С.И. Потоцкий. – М. : Кнорус, 2014. – 206 с.
9. Дронченко, В.А. Получение мелкодисперсной эмульсии на основе нефтесодержащих отходов и ее утилизация / В.А. Дронченко // Вестн. БрГТУ. Машиностроение. – 2017. – № 4 (106). – С. 51–54.

Поступила 23.06.2021

## THE PROGRAM OF SEARCH OF THE OPTIMAL TECHNOLOGICAL PROCESS OF THERMAL UTILIZATION OF OIL-CONTAINING WASTE WITH ENSURING REQUIREMENTS OF LABOR PROTECTION

V. DRONCHENKO, T. STRUK, O. GOLUBEVA

*The assessment of the level of use of industrial waste, collection of waste oils is given. The technological process of processing and utilization of liquid oil-containing waste is proposed, which is based on the preparation of an emulsion of the “water in oil” type using a pneumatic radiator, followed by the use of the latter as an additive to the main fuel burned in boiler rooms. The article presents an algorithm for finding the optimal technological process of thermal utilization of oil-containing waste, based on the application of graph theory, which includes two stages: the search for the shortest path length and the construction of the shortest path, as well as a computer program that automates this process.*

**Keywords:** *oil-containing waste, labor protection, environmental protection, recycling, search for the optimal technical solution, dynamic programming.*