



ТЕХНИЧЕСКАЯ ПАСПОРТИЗАЦИЯ СВОЙСТВ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ EXCEL

Во многих отраслях промышленности разработаны и частично реализованы процессы утилизации отходов. Однако объем перерабатываемых отходов по сравнению с их общим количеством довольно мал, невелика и эффективность их использования. Одним из основных сдерживающих факторов развития работ в данном направлении является практически полное отсутствие информации о технических характеристиках образующихся отходов, без знания которых невозможна разработка процесса их рекуперации (возвращения для вторичного использования).

*А. А. Фаюстов, канд. экон. наук, доц.
кафедры управления инновациями
Государственного университета управления*

ВВЕДЕНИЕ

Имеющиеся на предприятиях технические характеристики отходов разобщены, разрозненны и практически недоступны для широкого использования. Более того, отсутствует вообще какой-либо научно обоснованный

подход к задаче технического описания отходов. Результатом этого является то, что отходы если и находят применение, то используются в лучшем случае по аналогии с первичным сырьем, что зачастую совершенно не оправданно. Примеров, когда отходы не находят применения из-

за незнания их технических характеристик, можно привести множество. Техническим описанием природных ресурсов, объемы использования которых в большинстве случаев сравнимы с объемами образующихся отходов, в 90-е годы занимались десятки научных отраслевых, академических

и учебных учреждений [1, 2]. Между тем приоритет вовлечения в промышленное производство вторичных материальных ресурсов (ВМР) над использованием природных ресурсов очевиден как с экономической, так и с экологической стороны [3, 4].

Как уже отмечалось, одной из центральных задач технической паспортизации ВМР является определение для каждого конкретного отхода тех характеристик, которые подлежат измерению и занесению в технический паспорт. При этом очевидно, что сырье или продукт, превращаясь в процессе переработки или эксплуатации в отходы, помимо ухудшения или потери ряда потребительных качеств, приобретает ряд новых свойств, не характерных или полностью отсутствующих у первичного продукта. В соответствии с этим все технические характеристики отходов, заносимые в технический паспорт, могут быть условно разделены на две группы: 1) важнейшие для данного вида материала свойства, измерение которых обязательно для традиционных способов использования этого материала в качестве сырья; 2) вновь приобретенные свойства, измерение которых необходимо для разработки новых, нетрадиционных способов использования этого материала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение стохастических характеристик отходов как основы ВМР должно базироваться на четырех блоках функциональных стратегий обращения с ними: техносфере, экосфере, социосфере и ресурсосфере. Должны учитываться современный физико-химический анализ отходов, лабораторное оборудование, применение современных методов математической статистики и собственно техническая паспортизация отходов (рис. 1 ▶ стр. 00). Выполнение этой работы позволит получить объективную картину физико-химических характеристик отходов, в результате чего они становятся новым источником вторичного сырья с известными свойствами.

В работах [5, 6] предлагался следующий алгоритм действий потенциального потребителя ВМР по применению методов математической статистики для оценки свойств и показателей качества отходов с целью выбора на этой основе методов дальнейшего их использования.

Для каждого из возможных направлений использования отхода определяется набор контролируемых параметров (свойств), совокупность которых и составляет их общий пере-



К сведению

При выборе эффективного способа использования отходов достаточно определять только их наиболее информативные признаки.

чень. На начальном этапе статистической оценки свойств отходов и, соответственно, показателей качества ВМР необходима предварительная экспериментальная работа по определению статистических характеристик распределения генеральной совокупности образцов конкретного вида вторичного сырья, включая последовательно:

- отбор образцов отхода из различных источников поступления, включающий формирование случайной выборки и определение минимально необходимого числа отбираемых образцов;
- измерение всех контролируемых параметров каждого образца отхода. Для получения одного достоверного значения какого-либо параметра, в зависимости от вида материала и используемого оборудования, может потребоваться усреднение нескольких измерений, число которых регламентируется соответствующими инструкциями и стандартами;
- определение на основании таблицы измеренных параметров статистических показателей многомерного распределения контролируемых параметров образцов в генеральной совокупности (таких как среднее, среднеквадратическое отклонение и др.).

В результате производят общую статистическую оценку качества отхода. Однако отходы характеризуются значительной вариабельностью свойств, и перед исследователем неизбежно возникают задачи по оценке качества вновь поступающих партий сырья. Таким образом, на этапе выбора направлений эффективно использования отхода достаточно определять не все интересующие параметры, а только ограниченный набор наиболее информативных



Рис. 1. Концепция стратегического структурирования и паспортизации свойств отходов для превращения их в ВМР

признаков, что позволяет сократить затраты на проведение экспериментальных работ [5].

Далее указывается порядок отбора представительных проб для анализа свойств различных партий отходов и определения объема выборки, необходимого для получения достоверных данных. На первом этапе необходимо определить принципы случайной выборки из генеральной совокупности образцов отхода, позволяющие делать обоснованные выводы о статистических характеристиках распределения генеральной совокупности. Предположим, эксперимент организован так, что вероятность быть выбранным одинакова для всех элементов генеральной совокупности. Выборка из конечной генеральной совокупности должна быть представительной. Достичь этого можно как детерминированным (механическим) способом, когда заранее определяют места отбора образцов, так и случайным способом, когда периодически отбирают образцы, имеющиеся в данный момент в наличии. Возможно применение смешанного метода, когда используют оба этих способа одновременно.

В процессе исследования необходимо охарактеризовать отход как генеральную совокупность образцов, где под образцом понимают определенное количество материала, необходимого для анализа. Для описания генеральной совокупности удобно пользоваться статистическими характеристиками (среднее значение, дисперсия и др.) распределения исследуемых параметров для конкретного вида отхода. Результатом в данном случае будет корректное определение доверительных интервалов для области значений изучаемого параметра.

При соблюдении изложенных выше принципов случайной выборки из генеральной совокупности образцов отхода на следующем шаге следует определить объем случайной выборки, необходимый для оценки средней величины исследуемого параметра с предельной ошибкой (доверительным интервалом) Δ и заданной доверительной вероятностью P [7].

Доверительную вероятность $P = 1 - \alpha$ где α – уровень значимости, выбирают с учетом потребностей решаемой задачи. Чаще всего используются следующие уровни значимости: $\alpha = 5\%$ ($P = 95\%$), $\alpha = 1\%$ ($P = 99\%$) и $\alpha = 0,1\%$ ($P = 99,9\%$).

Используя известное соотношение

$$P = S(t_{N,P} \times N), \quad (1)$$

с помощью таблиц распределения Стьюдента выбирают значение $t_{N,P}$, соответствующее вероятности P и числу N образцов предварительной выборки [7]. Тогда необходимый объем выборки n_x для параметра X вычисляется согласно [7] по формуле:

$$n_x = \frac{t_{N,P}^2 \times \hat{\sigma}^2}{\Delta^2}, \quad (2)$$

где Δ – доверительный интервал, определяемый из соображений удовлетворительной точности оценки среднего значения генеральной совокупности.

Отметим, что в случае, когда n_x заранее известно и выбрана доверительная вероятность P , можно вычислить традиционным способом с помощью ручного счета предельно допустимую погрешность (доверительный интервал) Δ оценки среднего значения по n_x измерениям по формуле [7]:

$$\Delta = \frac{t_{N,P} \times \hat{\sigma}}{\sqrt{n_x}}. \quad (3)$$

Во избежание ошибок при ручном счете целесообразнее пользоваться расчетом данных в среде Excel. На скриншотах далее показана последовательность рассмотренных действий с использованием средств Excel на примере исследуемой выборки $n = 25$. Все действия с другими объемами выборок аналогичны и показаны на **рис. 2, 3 ▶ стр. 00**.

По мере увеличения n , t -распределение Стьюдента приближается к нормальному. При $n \geq 30$ разница между ними практически исчезает. Таблицы t -критерия Стьюдента построены для заданных уровней доверительных вероятностей (уровней значимо-

сти) и числа степеней свободы $k = n - 1$. В программном пакете Excel для вызова нужного значения t -критерия служит функция СТЬЮДРАСПОБР (критерий значимости; число степеней свободы) (**рис. 3**).

После того как определен необходимый объем выборки n_x для каждого параметра X , следует взять наибольшее значение n из полученных n_x и в соответствии с изложенными выше принципами случайного выбора образцов отобрать n образцов для достоверного измерения статистических характеристик исследуемых параметров.

Исходное сырье каждого вида подвержено влиянию различных факторов, изменяющих его физико-химические свойства и приводящих к образованию вторичного сырья. К этим факторам можно отнести следующие:

- условия эксплуатации (в том числе и климатические), различные для разных регионов и локальных областей в пределах одного региона;
- сроки и сезоны эксплуатации исходного материала;
- режимы и условия производства вторичного сырья и др.

Изучение отдельной партии с целью определения физико-химических параметров и направлений дальнейшего использования отхода должно выполняться в определенной последовательности. К моменту начала анализа отдельной партии уже должен быть составлен полный перечень контролируемых параметров данного вида отхода. Из анализируемой партии отбирается $N = 3 \div 5$ образцов для первоначальных измерений. Для каждого образца измеряются k_i наиболее информативных параметров X_i .

С помощью пакета программ Excel вычисляют средние X_i и дисперсии $\hat{\sigma}^2$ каждого из измеренных параметров и по формуле (1) определяют минимальное число измерений n , необходимое для достоверной оценки статистических характеристик измеряемых параметров.

Выбирают новые образцы из анализируемой партии и выполняют дополнительные измерения, чтобы общее число измерений равнялось n . На этом этапе анализа можно повторно

Буфер обмена						Шрифт						Выравнивание											
F7						fx						=СТАНДОТКЛОН(B7:B31)/КОРЕНЬ(25)											
A		B		C		D		E		F													
1						Оценка данных генеральной совокупности по результатам малой выборки по критерию Стьюдента при числе измерений $n = 25$						2											
3												3											
4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
Номер измерения		Результаты измерений X_i		Среднее арифметическое значение результатов измерений \bar{X}		Дисперсия D		Среднее квадратическое отклонение σ_x		Средняя квадратическая погрешность среднего арифметического S_x													
7		1		220,00																			
8		2		218,00																			
9		3		222,00																			
10		4		215,00																			
11		5		219,00																			
12		6		219,00																			
13		7		221,00																			
14		8		217,00																			
15		9		224,00																			
16		10		219,00																			
17		11		221,00																			
18		12		218,00																			
19		13		214,00		219,52		9,18		3,03		0,61											
20		14		225,00																			
21		15		215,00																			

Рис. 2. Последовательное определение среднего арифметического значения, дисперсии, среднего квадратического отклонения и средней квадратической погрешности среднего арифметического значения в Excel

Буфер обмена						Шрифт						Выравнивание											
D33						fx						=СТЮДРАСПОБР(0,05;24)*F7											
A		B		C		D		E		F													
16		10		219,00								16		17		18		19		20		21	
17		11		221,00																			
18		12		218,00																			
19		13		214,00		219,52		9,18		3,03		0,61											
20		14		225,00																			
21		15		215,00																			
22		16		224,00																			
23		17		222,00																			
24		18		217,00																			
25		19		215,00																			
26		20		220,00																			
27		21		218,00																			
28		22		221,00																			
29		23		219,00																			
30		24		222,00																			
31		25		223,00																			
32		Доверительная вероятность P		Нижняя доверительная граница результата измерений X_n		Верхняя доверительная граница результата измерений X_B		Доверительная граница погрешности результата измерений E		Значения t_p распределения Стьюдента с r степенями свободы		Границы допустимых значений признака по допуску на параметр											
33		0,95		218,27		220,77		1,25		2,064		209 - 231											
34		0,99		217,83		221,21		1,69		2,797													
35																							

Рис. 3. Определение доверительных границ погрешности результата измерений при доверительных вероятностях $P = 0,95$ и $P = 0,99$

выполнить более достоверную оценку средних и дисперсий, получить более точное значение количества измерений n , при необходимости выбрать еще ряд образцов и выполнить измерения для них.

По результатам измерений формируют таблицу значений наиболее информативных параметров. С помощью таблицы коэффициентов регрессии, полученной на этапе поискового технико-статистического анализа данного вида отхода, для каждого образца вычисляют значения остальных контролируемых параметров по формуле уравнения регрессии. Таким образом, на данном этапе окончательно формируется полная матрица значений физико-химических свойств всех образцов, отобранных из анализируемой партии отхода.

РЕЗУЛЬТАТЫ

С применением пакета программ Excel вычисляют статистические характеристики всех контролируемых физико-химических параметров отхода в заданной партии. На основании полученных результатов делают вывод о возможных направлениях дальнейшего использования данной партии путем сопоставления статистических характеристик физико-химических параметров отхода с допустимыми диапазонами значений параметров для данных направлений.

Поскольку допустимые границы свойств используемого сырья в каждом конкретном случае известны, полученные данные позволяют ответить на вопрос о возможности использования отхода в предполагаемом процессе переработки, а также выявить долю некондиционного сырья, что в случае с вторичным сырьем имеет место довольно часто. Следует отметить, что наиболее пригодным к использованию принято считать отход, значения контролируемых технологических параметров которого лежат в достаточно узком диапазоне, то есть как в однородном первичном сырье.

В случае, когда однозначный вывод о возможности использования

анализируемой партии сырья невозможен, потенциальный потребитель отхода как вторичного сырья может принять следующие решения:

- подвергнуть поступающее сырье направленной модификации, приводящей к изменению его свойств (при этом возможна их «нивелировка», сырье может приобрести новые технологические и эксплуатационные свойства, лежащие в более узком диапазоне, область использования сырья также может измениться);
- подвергнуть сырье более тщательному смешению и гомогенизации (этот путь часто связан с существенными дополнительными затратами);
- подвергнуть сырье классификации или сортировке по определенным признакам, выделяя тем самым более однородные группы сырья.

На основании нового системного подхода к проблеме использования ВМР может быть разработана концепция их технической (физико-химической) паспортизации. Концепция базируется на изучении особенностей технологического и эксплуатационного процессов (в результате которых образуются отходы производства и потребления), исследовании физико-химических и технологических свойств отхода (старых – присущих исходному сырью и материалам и новых – вновь приобретенных в процессе эксплуатации) и анализе их экономических, экологических и других характеристик. Данный подход устанавливает функциональные связи между различными аспектами проблемы рекуперации ВМР и указывает на новые перспективные направления их использования. Конечной целью технической паспортизации какого-либо конкретного вида отходов является эффективное использование его в промышленном производстве.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проблема технической паспортизации отходов относится к числу ключевых проблем комплексного и эффективного использования ВМР в промышленном производстве. Следует подчеркнуть сложности решения



этой проблемы не столько при исследовании отходов производства, сколько при изучении возможности рекуперации крупнотоннажных отходов промышленного, сельскохозяйственного и бытового потребления. Действительно, за период эксплуатационного цикла материалы, вещества и изделия приобретают новые физико-химические свойства (появляются новые активные реакционные центры, может значительно измениться молекулярная структура и состав). Поэтому такие отходы необходимо рассматривать как новое сырье для последующего синтеза или переработки и получения веществ, материалов и изделий с нужными свойствами. Именно такой подход формируется в мировой науке, и будет правильным признать его фундаментальным.

В отличие от первичного сырья, отходы производства и потребления имеют более неблагоприятные характеристики однородности и чистоты, обусловленные разной степенью износа, деструкции и загрязненности исходных материалов, а также влиянием климатических и ряда других

факторов, вызывающих значительный разброс значений их физико-химических и технологических свойств. Поэтому эти характеристики отходов можно назвать стохастическими. Именно от них в большой степени зависит выбор технологии переработки отходов (либо сырья с их использованием), качество полученных материалов и изделий, а также успешное решение вопросов экологии и экономики рекуперации отходов, которое базируется на современном физико-химическом анализе, лабораторном оборудовании и последующем привлечении современных методов математической статистики. Выполнение этой работы позволит получить объективную картину физико-химических характеристик отходов, в результате эти отходы становятся новым источником сырья с определенными свойствами.

На этапе сортировки вторичное сырье делят по специфичным для каждого вида сырья признакам на группы или марки, внутри которых диапазон варьирования свойств сырья более узок. Такое разделение обычно



проводят в соответствии с техническими условиями (ТУ) или другой нормативной документации (далее – НД). В результате классификации каждая выделенная группа сырья снабжается производственной маркой, которая должна содержать название и местонахождение обладающего сырьем предприятия, наименование органа управления, в систему которого входит это предприятие, название и номер ТУ или другой НД, в соответствии с которой сырье выделено в группу, некоторые характеристики качества (например, загрязненность и т. д.), также может быть указан сорт сырья.

Результатом технической паспортизации является документ, содержащий основные сведения о номенклатуре, местонахождении, объемах образования отходов, степени использования и отпускной стоимости отходов, физико-химических и технологических свойствах вторичного сырья, их влиянии на окружающую среду, эффективных и комплексных направлениях рекуперации ВМР. При этом следует подчеркнуть, что в условиях научно-технического прогресса

са необходима постоянная актуализация данных технического паспорта на отходы производства и потребления.

За период эксплуатационного цикла материалы, вещества и изделия приобретают новые физико-химические свойства. Они в значительной степени объясняются комплексом особенностей как исходного сырья, так и технологических и эксплуатационных процессов, которые накладывают на эти свойства наиболее существенный отпечаток, делая их стохастическими и в ряде случаев региональными. Поэтому необходимо изучить значительно больший объем исходной физико-химической информации об отходах, чтобы в конечном счете на основе методов математической статистики можно было представить обоснованный и весьма широкий спектр технических свойств ВМР. Выполнение этой работы требует наличия нормативной документации на методы измерения технических характеристик ВМР, а в случае их отсутствия требуется либо доработка и унификация соответствующей документации для первичных сырья и материалов, либо разработка новой НД для оценки физико-химических свойств ВМР.

Суть концепции технической паспортизации (КТП) ВМР [8, 9] состоит в установлении прямых и обратных связей между различными аспектами проблемы использования отходов производства и потребления и на основе этой системы связей – в комплексном решении задач, относящихся к проблемам технологии, экологии, экономики, ресурсосбережения, более широкого вовлечения ВМР в производственные процессы. Концептуальный подход позволяет увидеть взаимную зависимость многих названных проблем, задач и понятий и должен опираться на самые общие представления о генезисе ВМР, их свойствах и их практическом назначении.

Исследование проблем этапа генезиса ВМР позволяет отметить, что отход – не всегда аналог первичного сырья, материалов и изделий с ухудшенными свойствами. Часто, и это

следует подчеркнуть, отход – новый вид сырья с новыми и в ряде случаев более ценными свойствами. В рамках этого же этапа возможно определить направления поиска физико-химических и технологических свойств отхода, оценить качественные показатели некоторых из них, определить ряд новых свойств отхода, которые могут указать на нетрадиционные направления его использования, определить такие технологические решения и эксплуатационные регламенты, в результате которых становится возможной эффективная рекуперация отходов в момент их образования. Такие исследования следует предусмотреть в исходной документации на первичное сырье, материалы и технологии, которая должна содержать информацию об эффективных и комплексных направлениях использования отходов.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВМР ТРЕБУЕТ НАИБОЛЬШИХ ТРУДОЗАТРАТ.

Анализ различных характеристик ВМР – центральная и наиболее трудоемкая часть КТП ВМР. Этот анализ, с одной стороны, состоит в сборе результатов соответствующих исследований в стране и за рубежом, которые весьма ограничены и часто несопоставимы друг с другом, с другой – в проведении научно-исследовательской аналитической и экспериментальной работы в области изучения физико-химических и технологических свойств ВМР для формирования соответствующих справочных данных. Без всестороннего исследования физико-химических свойств ВМР невозможно найти обоснованные технологические, экологические и экономические решения проблемы рекуперации ВМР. Здесь следует подчеркнуть, что физико-химический анализ ВМР требует наибольших трудозатрат, так как для определения этих данных необходимо проведение теоретических и экспериментальных научных работ по комплексной оценке возможного

набора свойств отхода, в том числе и таких, которые играют существенную роль при решении не только вопросов технологии, но и экономики и экологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведение технической паспортизации отходов включает сочетание аналитической и экспериментальной работы по определению физико-химических характеристик отходов, расчеты их экологических и экономических показателей, определение прямого и обратного влияния технологического или эксплуатационного процесса, ведущего к отходу, на его физико-химические свойства, выбор технологии эффективной переработки исходного сырья и отхода. Помимо этого, паспорт на отход дает возможность рассматривать ВМР как обычный сырьевой источник, а наличие разработанных и унифицированных методик измерения физико-химических и технологических свойств ВМР позволяет ставить и успешно решать задачи получения материалов и изделий с применением отходов с высокими качественными показателями.

Полученные в результате технической паспортизации данные о физических и химических свойствах отходов необходимы для воздействия на технологические и эксплуатационные процессы, в результате которых происходит образование ВМР, для изменения этих процессов с целью получения отходов с заданными свойствами и количеством. Данные технического паспорта отхода могут быть использованы при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, для более обоснованного учета капиталовложений и инвестиций при разработке новых процессов и создании новых материалов [10].

Система технической паспортизации предполагает ее последующее внедрение и функционирование в масштабах страны, то есть составление технических паспортов, содержащих необходимые физико-химические характеристики всех образующихся и имеющихся в стране основных ви-

дов отходов. Очевидно, что силами отдельной научной организации такая задача не может быть решена. Для ее решения необходимо привлечь предприятия, организации и научные институты в тех отраслях, в которых эти отходы образуются. В современных экономических условиях необходимо

рассмотреть все возможные мероприятия для проведения предприятиями такого рода работ и поступления полученной информации по техническим свойствам образующихся электронных отходов в адрес разработчиков системы технической паспортизации таких отходов [11, 12]. ♻️



Литература

1. Голубин А. К., Никанорова С. П., Забелина С. И., Митенин Е. Б. Научно-методические основы разработки региональных программ использования твердых промышленных отходов // Технология. Сер. Ресурсосберегающие процессы, оборудование, материалы. – М.: ВИМИ, 1993. – Вып. 1–2. – С. 16–25.
2. Девяткин В. В., Голубин А. К., Никанорова С. П. Концепция совершенствования системы государственного управления использованием отходов производства и потребления в качестве вторичного сырья // Технология. Сер. Ресурсосберегающие процессы, оборудование, материалы. – М.: ВИМИ, 1995. – Вып. 1–2. – С. 3–22.
3. Лебедев В. Н., Девяткин В. В. Переработка отходов – путь к экономическому и экологическому оздоровлению России // Технология. Сер. Ресурсосберегающие процессы, оборудование, материалы. – М.: ВИМИ, 1993. – Вып. 1–2. – С. 3–8.
4. Лебедев В. Н., Девяткин В. В., Голубин А. К. Проблема отходов и пути ее решения (по материалам разработки концепции программы «Отходы») // Технология. Сер. Ресурсосберегающие процессы, оборудование, материалы. – М.: ВИМИ, 1993. – Вып. 3. – С. 3–10.
5. Улицкий В. А., Васильвицкий А. Е., Меркулов Е. И., Муратова Н. М. Основы создания и ведения региональных специализированных банков вторичных материальных ресурсов. – М.: ВНИИР, 1991. – 223 с.
6. Фаюстов А. А., Роцин А. В. Определение свойств отходов с использованием статистических методов // Промышленная политика в Российской Федерации. – 2003. – № 5. – С. 54–62.
7. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Юрайт, 2015. – 479 с.
8. Улицкий В. А., Васильвицкий А. Е., Плущевский М. Б. Промышленные отходы и ресурсосбережение // Под ред. А. Д. Козлова и Т. В. Боравской. – М.: Сашко, 2006. – 368 с.
9. Фаюстов А. А. Утилизация промышленных отходов и ресурсосбережение. Основы, концепции, методы: (монография). – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – 272 с.
10. Плущевский М. Б., Фаюстов А. А. Концептуальные основы технического регулирования процессов обращения с отходами на современном этапе // Корпоративная социальная ответственность. – 2008. – № 4. – С. 65–86.
11. Фаюстов А. А. Требуется ли обновление нормативной базы для утилизации электронных отходов. Часть 1 // ТБО. – 2020. – № 10 (172). – С. 51–55.
12. Фаюстов А. А. Требуется ли обновление нормативной базы для утилизации электронных отходов. Часть 2, окончание // ТБО. – 2020. – № 11 (173). – С. 42–45.