

# Использование онтологического инжиниринга при анализе технологических линий

Евгений Курнасов, Анна Володина, Галина Богомольная, Дмитрий Киселев (РТУ МИРЭА)

В статье рассматривается особенность применения метода онтологического инжиниринга для выявления «узких» мест на технологической линии сортировки и первичной переработки пластиковых изделий. Предложена семантическая модель сектора оборудования технологической линии, приведена матрица определения приоритетов атрибутов, определены условия, влияющие на производительность технологической линии.

## Введение

Наряду с высокими темпами развития информационного общества сейчас активно проходит цифровая трансформация промышленных предприятий с внедрением новых технологий (искусственный интеллект, блокчейн, анализ данных, Интернет вещей и др.) [1, 2]. Важность их использования для оценки эффективности выполнения операций технологического процесса, контроля состояния оборудования и затрат ресурсов на его обслуживание сегодня особенно очевидна.

Каждая из используемых на производственном предприятии автоматизированных систем использует свой функционал и алгоритмы управления для достижения максимальной эффективности. В данной работе делается акцент на обеспечение работоспособности оборудования технологических линий за счёт применения метода онтологического инжиниринга [3–5]. Внедрение в действующую на производственной линии автоматизированную систему управления аналитической компоненты на основе онтологического инжиниринга позволяет выявить основные «узкие» места в технологической цепи, определить область, в которой происходит неопределённость внешних и внутренних факторов или параметров выполняемых технологических процессов, влияющих на общую эффективность производства.

## Основная часть

Процесс разработки такой аналитической компоненты для автоматизированных систем управления технологическими линиями предусматривает этап анализа всех исследуемых процессов и подпроцессов. При этом важ-

ным является подробное отображение структуры заранее выявленной проблемной области в исследуемом технологическом процессе. Использование в этом случае онтологий и их расширение позволяет применять единый информационный базис, что, в свою очередь, обуславливает отсутствие необходимости дополнительных преобразований информации в соответствии с требованиями отдельных автоматизированных систем, действующих на производстве.

Анализ информации при онтологическом моделировании [6–8] отделяет понятия от их представления. Это очень важный и принципиальный тезис, поскольку восприятие некоторых процессов и подпроцессов может отличаться от их представления (сути) в действующих на производстве автоматизированных системах управления.

Онтология определяется как

$$O = \langle X, R, F \rangle,$$

где  $X$  – множество понятий (концептов) предметной области,

$R$  – множество отношений между понятиями,

$F$  – множество функций интерпретации, заданных на концептах и/или отношениях.

Модель онтологической системы определяется как

$$Z = \langle O, P, M \rangle,$$

где  $O$  – онтология верхнего уровня, содержащая общие понятия и отношения, не зависящие от предметной области,

$P$  – множество предметных онтологий и онтологий задач предметной области,

$M$  – модель вывода онтологической сети (например, для изменения критериев выбора параметров для анализа).

Классификация онтологии в виде иерархического дерева представлена на рис. 1.

Среди основных преимуществ использования онтологии при анализе технологических линий можно выделить следующие.

1. Структурируемая визуализация информации.
2. Формирование целостного взгляда на анализируемый объект.
3. Анализ предметной области через систему вопрос–ответ.
4. Точность определения требований к информационной системе.
5. Возможность дополнять основу для дальнейшего моделирования.

Недостатки использования онтологического инжиниринга.

1. Трудоёмкость структурирования.
2. Частые ошибки в построении так называемых «паутинок».
3. Необходимость понимания и знания нотаций концептуальных моделей.

Очевидно, что использование онтологического инжиниринга при анализе технологических линий имеет больше преимуществ, чем недостатков.

На практике онтологический инжиниринг применяют в системах автоматизированного сбора информации и анализа, управлении корпоративными информационными ресурсами, а также в системах сферы образования и др.

В нашем случае онтологический инжиниринг используется для выявления узких мест на технологической линии сортировки и первичной переработки пластиковых изделий [9–12]. Важность определения узких мест в цепочке процессов на такой технологической линии в том, что в совокупности, при определённых условиях, они могут значительно снизить её производительность и замедлить производство в целом.

Технологическая линия сортировки и первичной переработки пластиковых изделий (рис. 2) условно разделена на девять звеньев. Каждая позиция звена имеет своё функциональное назначение. Например, позиция звена 1 используется для дозированной подачи сортируемых пластиковых изделий на линию, а позиция звена 5 отвечает за опреде-

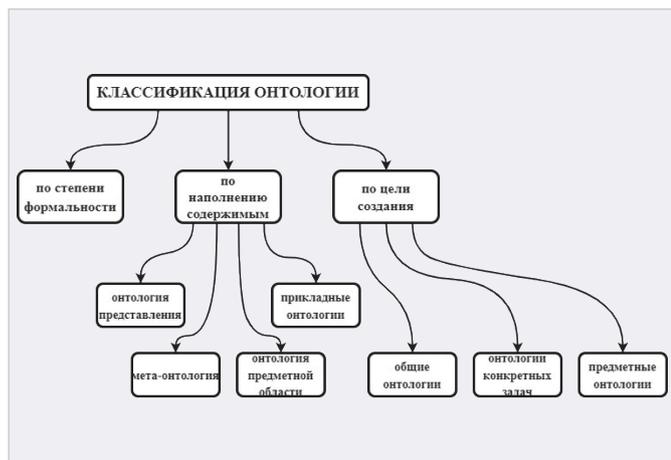


Рис. 1. Классификация онтологий

ление химического состава полимера пластиковых бутылок на технологической линии.

При разработке аналитической компоненты на основе онтологического инжиниринга [13–15] в структуре технологической модели линии сортировки и первичной переработки пластиковых изделий для выявления узких мест и уязвимостей были выделены три сектора по фазам работы технологической линии.

Основной акцент реализации аналитической компоненты в данной работе сделан для сектора оборудования, который является одним из ключевых и оказывает решающее значение для обеспечения эффективности технологической линии сортировки и первичной переработки пластиковых изделий.

Для сектора оборудования (учитывая работу технологической линии на участке перемещения сырья и полуфабриката, участке сортировки пластиковых бутылок и др.) определены следующие показатели:

- показатель потребления электроэнергии;
- эксплуатационные показатели технологического объекта (объём переработки сырья, эффективность (скорость) переработки сырья, качество получаемого полуфабриката);
- технические показатели пневмовороршителя (давление в соплах пневмовороршителя, количество сопл, расход потока воздуха, эффективность использования);
- технические показатели лент-транспортёров (скорость движения ленты, ширина ленты, масса транспортируемого сырья);
- показатели моющих средств в резервуарах (концентрация моющего средства, температура моющего сред-

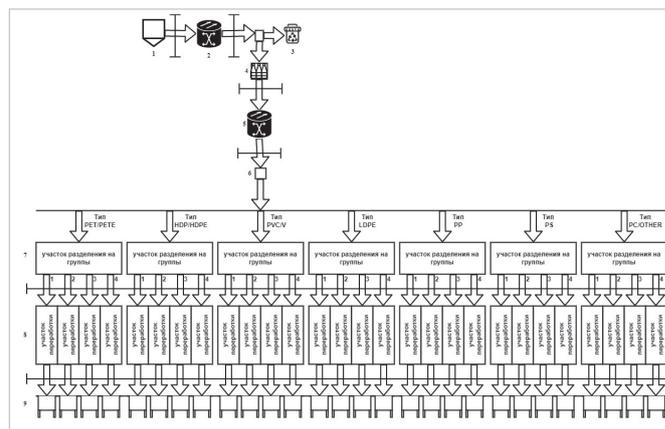


Рис. 2. Технологическая модель линии сортировки и первичной переработки пластиковых изделий

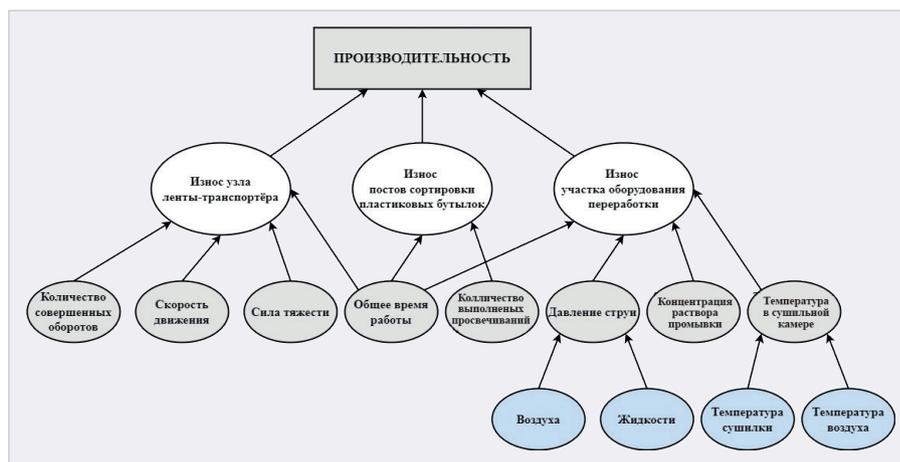


Рис. 3. Семантическая модель данных сектора оборудования технологической линии

ства, давление подачи струи моющего средства);

- технические показатели воздушных струй перемещения сырья (давление в соплах, расход потока воздуха, распыл воздушной струи);
- технические показатели спектра частот;
- технические показатели переработки сырья (дисперсия размельчённого сырья и их влажность).

Все перечисленные параметры в той или иной степени оказывают влияние на производительность технологической линии сортировки и первичной переработки пластиковых изделий. Именно поэтому при проведении онтологического моделирования показатель производительности для данного технологического объекта использовался в качестве базового анализируемого показателя.

Рассмотрим особенность применения метода онтологического инжиниринга для получения аналитической компоненты (содержащей семантическую модель данных, матрицу приоритетов и функцию влияния

на ключевой показатель), которая может служить не только для выявления «узких» мест на технологических линиях сортировки и первичной переработки пластиковых изделий, но и являться дополнительным функционалом автоматизированных систем для проведения предиктивного анализа эффективности выполняемых производственных процессов.

Онтологический инжиниринг при формализации области знаний предусматривает возможность разработки концептуальной схемы – семантической модели данных (паутины), которая, по сути, является фундаментом, на котором строятся все решения проблем работы с данными. Семантическая модель данных объединяет элементы информации прикладной области, отражая взаимосвязи компонентов всех уровней: от атрибутов, которые сами по себе могут иметь сложную, составную структуру на нижнем уровне, до искомым показателей на верхних.

На рис. 3 представлена полученная при проведении онтологического моделирования семантическая модель данных для сектора оборудования

Таблица 1. Основные параметры узла «лента-транспортёр»

№	Наименование параметра	Условное обозначение	Единица измерения
1	Время работы	t	Секунды (с)
2	Сила тяжести		Ньютоны (Н)
g – ускорение свободного падения ≈ 9,8		m – масса	Тонны (т)
		H/kg	
3	Скорость	V	м/с
4	Количество оборотов привода	S	об/мин

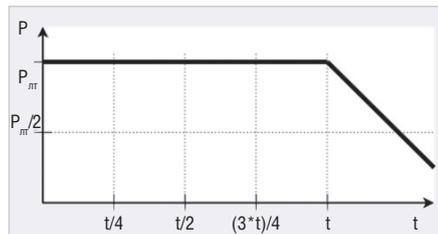


Рис. 4. График зависимости производительности узла «ленты-транспортёра» от общего времени работы

сортировки и первичной переработки пластиковых бутылок.

Выявление взаимосвязей всех элементов семантической модели данных осуществляется с учётом ключевого показателя, оказывающего наибольшее влияние на выполнение основных операций технологического процесса. Таких показателей может быть несколько. Выбор конкретного показателя осуществляется с учётом установленного на промышленном предприятии критерия эффективности.

При реализации семантической модели данных были определены признаки, которые влияют на базовый показатель. В нашем случае это производительность. К каждому признаку определены атрибуты – ключевые элементы каждого узла технологической линии. В свою очередь, эти элементы могут быть составными.

Аналитическими признаками, по которым характеризуется производительность, являются: износ узла ленты-транспортёра, износ поста сортировки пластиковых бутылок, износ участка оборудования переработки.

В качестве примера в табл. 1 показаны основные атрибуты, их единицы измерения и условные обозначения для узла «лента-транспортёр», находящегося на участке перемещения сырья и полуфабриката.

Определение приоритетов относится к одному из этапов нахождения атрибутов, которые в совокупности оказывают существенное влияние на выполнение технологического процесса. Определение приоритетов для этих атрибутов

задаёт направление будущих исследований по выявлению зависимостей различных параметров, обеспечивающих эффективную работу технологической линии.

В табл. 2 приведена матрица определения приоритетов атрибутов, влияющих на показатель «Производительность» для аналитического признака «Износ узла ленты-транспортёра». В данной матрице зависимостей технологических параметров приоритеты были установлены на основе принципа таблиц Броссо (искусственное пересечение двух атрибутов в ячейках).

Так как в нашем случае используются небольшие списки атрибутов, то электронные таблицы эффективно подходят для ранжирования.

При заполнении каждой ячейки таблицы на пересечении двух атрибутов необходимо ответить на вопрос, какому из них отдать предпочтение.

Возможны только два варианта ответа: знак «меньше» (<) показывает, что атрибут в строке важнее; знак «крышечка» (^) показывает, что важнее атрибут в столбце [16].

После определения важности ставится относительная оценка каждому из атрибутов.

Этап определения приоритетов служит двум целям. Во-первых, он помогает сосредоточиться на выявлении требований технологического процесса по тем атрибутам, от которых больше всего зависит эффективность выполнения процессов и работы оборудования. Во-вторых, он позволяет определить, как действовать при обнаружении противоречивых требований к достижению эффективности [16].

После построения матрицы зависимостей технологических параметров были определены условия соблюдения требований к технологическому оборудованию, которые в наибольшей степени влияют на ключевой показатель (рис. 4). Для показателя производительности узла ленты-транспортёра на участке перемещения сырья и полу-

Таблица 2. Определение приоритетов атрибутов на участке перемещения сырья и полуфабриката

	Приоритет	t, с	S, об/мин	V, м/с	F, Н
t, с	3		^	<	<
S, об/мин	4			<	<
V, м/с	2				<
F, Н	1				

фабриката получена следующая закономерность:

$$P_{ЛТ} = \frac{F_T}{t}, \text{ при } t/\phi \leq t, S\phi \leq S,$$

где  $P_{ЛТ}$  – производительность ленты-транспортёра,

$S\phi$  – фактические совершённые обороты привода ленты-транспортёра,

$t/\phi$  – фактическое время работы ленты-транспортёра.

По результатам онтологического моделирования была получена структура данных (рис. 5), которая может быть интегрирована в действующую СУБД комплекса технологической линии сортировки и первичной переработки пластиковых изделий.

### Заключение

Использование метода онтологического инжиниринга позволяет определить факторы, влияющие на эффективность выполнения технологических процессов, увидеть картину изменения результата их выполнения от изменяемых показателей, а также выявить узкие места технологической линии, которые необходимо учитывать для обеспечения общей эффективности производства. По результатам онтологического инжиниринга для автоматизированной системы управления, действующей на технологической линии сортировки и первичной переработки пластиковых изделий, появилась возможность вычислять зависимость между затратами на обслуживание оборудования и его эффективностью выполнения технологических процессов и прогнозировать необходимость планового и предупредительного обслуживания. Результатом вычислений может быть прогноз времени, когда следует увеличить частоту обслуживания оборудования или необходимость его замены. Предложенная семантическая модель данных никогда не будет являться завершённой. Она всегда будет расширяться за счёт выявления новых узких мест на технологической линии.

