

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева»

Программа дополнительного профессионального образования
«Прикладные методы, средства и технологии искусственного интеллекта»

Дисциплина «Методы и системы искусственного интеллекта в организациях химической
отрасли»

Семинар 4. Продукционные модели представления знаний для принятия решений по управлению технологическими процессами в заданном технологическим регламентом, предаварийном и аварийном режимах

Ведущий преподаватель: кандидат технических наук,
доцент Михайлова Павла Геннадьевна

Продукционные правила — *PR* — это структурно-лингвистические модели представления процедурных знаний предметной области (рекомендаций, указаний, стратегий или эвристических правил), которые формально записываются в виде следующих пар:

- **Если <условие>, то <действие>**
- **Если <причина>, то <следствие>**
- **Если <посылка>, то <заключение>**
- **Если <ситуация>, то <действие>.**

ЕСЛИ (рН жидкости меньше 6), ТО (жидкость — кислота);

ЕСЛИ (температура кипения вещества меньше текущей температуры),
ТО (фазовое состояние вещества — пар);

ЕСЛИ (фазовое состояние вещества *x* в смеси двух компонентов — жидкость) и (фазовое состояние вещества *y* в смеси двух компонентов — жидкость), ТО (для разделения веществ *x* и *y* использовать процесс ректификации).

Условную (левую) часть правила также называют **антецедентом**, а часть действия (правую) — **консеквентом**.

Логические операции

Действия, совершаемые над логическими переменными для получения определенных логических функций, называются логическими операциями. В алгебре логики используются следующие логические операции:

- **ИНВЕРСИЯ (логическое отрицание (« $\neg$ »))**. В естественных языках соответствует словам **НЕВЕРНО**, **ЛОЖЬ** или частице **НЕ**, в языках программирования обозначается **Not**, в алгебре логики обозначается $\bar{A}$, $\neg$
- **КОНЪЮНКЦИЯ (логическое умножение (« $\wedge$ »))**. В естественных языках соответствует союзу **И**, в языках программирования обозначается **And**, в алгебре логики обозначается $\wedge$.
- **ДИЗЪЮНКЦИЯ (логическое сложение (« $\vee$ »))**. В естественных языках соответствует союзу **ИЛИ**, в языках программирования обозначается **Or**, в алгебре логики обозначается $\vee$.
- **ИМПЛИКАЦИЯ (логическое следование)**. В естественных языках соответствует обороту речи, **ЕСЛИ..., ТО ...**, в языках программирования обозначается **If**, в алгебре логики обозначается $\rightarrow$.
- **ЭКВИВАЛЕНЦИЯ (логическая равнозначность)**. В естественных языках соответствует обороту речи **ТОГДА И ТОЛЬКО ТОГДА**, в алгебре логики обозначается $\Leftrightarrow$ или $\equiv$

ПРИМЕР

Если «температура сырьевого потока» = «выше нормы», то «расход водяного пара, подаваемого на распыл сырья» = «увеличить».

Обозначим лингвистические переменные:

- x – «температура сырьевого потока»,
- u – «расход водяного пара, подаваемого на распыл сырья».

Эти переменные могут принимать следующие значения:

- $x = \langle \text{«ниже нормы»}, \text{«норма»}, \text{«выше нормы»} \rangle = \langle LN, N, PN \rangle$;
- $u = \langle \text{«уменьшить»}, \text{«не изменять»}, \text{«увеличить»} \rangle = \langle D, O, Up \rangle$

Тогда продукционная модель, соответствующая приведенному выше правилу:

$$M_1 \equiv [(x = PN) \rightarrow (u = Up)]$$

ПРИМЕР

Повышение температуры обогревающей воды в рубашке ведет к окислению и снижению выхода продукта. Снижает выход продукта также остаток хлороформа после отгонки. Для того, чтобы нейтрализовать хлороформ, нужно добавить к кубовому остатку изопропанол в заданном соотношении.

Лингвистические переменные:

X1 – «Температура воды в рубашке»

X2 – «Выход продукта»

X3 – «Концентрация хлороформа»

U1 – «Добавление изопропанола»

U2 – «Регулирование температуры воды в рубашке»

X2, X3 = <«норма», «ниже нормы», «выше нормы»> = <N, LN, PN>

X1 = <«норма», «ниже нормы», «выше нормы»> = <N, LN, PN>

U1 = <«да», «нет»> = <T, F>

U2 = <«повысить», «понижить», «не изменять»> = <Up, D, O>

1. Если «Температура воды в рубашке» = «выше нормы», то «Выход продукта» = «ниже нормы».

$$M_1 \equiv [(X_1 = PN) \rightarrow (X_2 = LN)]$$

2. Если «Концентрация хлороформа» = «выше нормы», то «Выход продукта» = «ниже нормы».

$$M_2 \equiv [(X_3 = PN) \rightarrow (X_2 = LN)]$$

3. Если «Температура воды в рубашке» = «выше нормы» И «Выход продукта» = «ниже нормы», то «Регулирование температуры воды в рубашке» = «понижить».

$$M_3 \equiv [(X_1 = PN) \wedge (X_2 = LN) \rightarrow (U_2 = D)]$$

4. Если «Концентрация хлороформа» = «выше нормы» И «Выход продукта» = «ниже нормы», то «Добавление изопропанола» = «да»

$$M_4 \equiv [(X_3 = PN) \wedge (X_2 = LN) \rightarrow (U_1 = T)]$$

Обратный вывод

Этот процесс предусматривает следующие шаги.

1. Определить цель для логического вывода и выбрать ее в качестве текущей подцели.
2. В списке правил найти первое вхождение (в части ТО) этой подцели. Если правило найдено, перейти к рассмотрению условной части (ЕСЛИ) найденного правила. Если правило не найдено, сообщить пользователю, что ответ найти невозможно.
3. Выбрать в качестве подцелей факты из условия (части ЕСЛИ) из данного правила.
4. Если в списке подцелей имеются факты, истинность или значение которых могут быть запрошены у пользователя, то задать пользователю соответствующие вопросы.
5. Если очередная подцель может быть выведена, то перейти к шагу 2.
6. Если очередная подцель не может быть выведена или запрошена у пользователя, сообщить, что ответ получить невозможно.
7. Если все подцели подтверждены, то сообщить пользователю окончательный вывод.

Факт: «Температура воды в рубашке»=«выше нормы»

Цель: «Регулирование температуры воды в рубашке»=«понизить»

1. Если «Температура воды в рубашке»=«выше нормы», то «Выход продукта»=«ниже нормы».

$$M_1 \equiv [(X_1 = PN) \rightarrow (X_2 = LN)]$$

3. Если «Температура воды в рубашке»=«выше нормы» И «Выход продукта»=«ниже нормы», то «Регулирование температуры воды в рубашке»=«понизить».

$$M_3 \equiv [((X_1 = PN) \wedge (X_2 = LN)) \rightarrow (U_2 = D)]$$

5. Если «Температура воды в рубашке»=«выше нормы» И «Сигнализация»=«включить», то «Регулирование температуры воды в рубашке»=«понизить».

Пример разработки системы продукционных правил

Модели представления знаний: продукционные. Составить систему продукционных правил и записать продукционную модель представления знаний по управлению технологическим процессом блока 3/3 установки каталитического крекинга в предаварийном и аварийном режиме на примере сценариев А-1.0.0., А-1.1.0.

Код сценария	Признаки аварийных ситуаций	Способы противоаварийной защиты	Действия
А-1.0.0.	Повышение давление в пропановой колонне К-306 выше 23,5 кгс/см ² .	1. Прекратить поступление теплоносителя в рибойлер Т-314. 2. Сбросить давление из К-306. 3. Сбросить давление из рефлюксной емкости Е-306. 4. Прекратить поступление головки стабилизации в К-306. 5. Уменьшить или прекратить подачу орошения в К-306.	1. Закрыть регулирующий клапан ТСА 3-115 на линии подачи теплоносителя в рибойлер Т-314 и запорную арматуру на нем. 2. Закрыть регулирующий клапан LCA 3-166 на линии выхода бутан-бутиленовой фракции из Т-314 в Х-306 и запорную арматуру на нем. 3. Открыть регулирующий клапан РСА 3-134 на линии выхода газа из К-306. 4. Прекратить поступление «головки стабилизации», закрыв регулирующий клапан FCA 3-105 и запорную арматуру на нем. 5. Направить «головку стабилизации» помимо К-306 в Х-306 по линии 309/10. 6. Поднять температуру низа десорбера К-303 до 120°C, сократить подачу абсорбента и расходы циркуляционных орошений абсорбера К-303 для извлечения легких газовых фракций из бензина. 7. Открыть ручной клапан РСА 3-136 на линии сброса газа из Е-306 в топливную сеть. 8. Откачать уровень из рефлюксной емкости Е-306, остановить насос Н-331, 331р.
А-1.1.0.	Выброс углеводородного газа в атмосферу через ППК или разгерметизированный участок.	1. Согласно коду А-1.0.0. настоящего блока. 2. Включить паровую завесу печей. 3. Аварийная остановка установки.	1. Действия согласно коду А-1.0.0 настоящего блока. 2. Включить паровую завесу печей П-101/1,2, П-102 открытием электроздвижки НЕ 1-16. 3. Установку остановить аварийно.

Лингвистические переменные:

- X_1 – «давление в пропановой колонне» = <ниже нормы, норма, выше 23,5 кгс/см²> (LN, N, PN)
- X_2 – «регулирующий клапан ТСА 3-115» = <открыть, закрыть> (OP, CL)
- X_3 – «регулирующий клапан ЛСА 3-166» = <открыть, закрыть> (OP, CL)
- X_4 – «регулирующий клапан РСА 3-134» = <открыть, закрыть> (OP, CL)

1. ЕСЛИ «давление в пропановой колонне» = «выше 23,5 кгс/см²», ТО «регулирующий клапан ТСА 3-115» = «закрыть»,

$$M_1 \equiv [(X_1 = PN) \rightarrow (X_2 = CL)]$$

2. ЕСЛИ «регулирующий клапан ТСА 3-115» = «закрыть», ТО «регулирующий клапан ЛСА 3-166» = «закрыть».

$$M_2 \equiv [(X_2 = CL) \rightarrow (X_3 = CL)]$$

Пример разработки системы продукционных правил

Модели представления знаний: продукционные. Составить систему продукционных правил и записать продукционную модель представления знаний по управлению технологическим процессом реакторно-регенераторного блока установки каталитического крекинга в предаварийном режиме на примере сценариев (А-3.0.0, А-5.0.0).

Код сценария	Признаки аварийных ситуаций	Способы противоаварийной защиты	Действия
А-3.0.0.	1. Падение суммарного расхода воздуха в регенератор Р-202 ниже 42000 нм³/час. 2. Уровень в реакторе Р-201 LCE 2-181-1. 3. Уровень в регенераторе Р-202 LA 2-186. 4. Перепад давления между Р-202 и Р-201 PDCA 2-121.	1. Прекратить циркуляцию катализатора. 2. Подать аварийный водяной пар в прямоточный реактор. 3. Направить гидрогенизат помимо реактора в К-201. 4. Отключить реактор от потока сырья. 5. Открыть подачу технического воздуха из заводской сети для шевеления катализатора в Р-202.	1. Открыть регулирующий клапан FCE 2-155-1,2 на линии подачи аварийного пара в реактор. Расход аварийного пара в Р-201 выдерживать на уровне 15000-17000 кг/ч. 2. Понизить производительность секции 100 до 150 м³/час с выводом части гидрогенизата через ХВ-101/1 в сырьевой коллектор и в линию некондиции через ХВ-202/1,2. 3. Для поддержания уровня в К-201 открыть подачу гидрогенизата через клапан НС 2-29. 4. Не прекращать работу циркуляционных орошений в К-201.
А-5.0.0.	1. Попадание жидкого топлива в Р-202 через топливные форсунки в период пуска (разогрев реакторного блока при отсутствии уровня катализатора) 2. Резкий рост температуры в Р-202.	1. Прекратить подачу жидкого топлива на реакторный блок секции 200. 2. Погасить топливные форсунки топки под давлением П-201. 3. Сократить подачу воздуха от нагнетателей ЦК-201/1,2,3. Открыть подачу водяного пара в Р-201	1. Перекрыть подачу жидкого топлива на реакторный блок, перекрыв запорную арматуру на линии жидкого топлива от Н-102-х. 2. Погасить топливные форсунки топки под давлением П-201. 3. Сократить подачу воздуха в регенератор от ЦК-201/1,2,3 путем регулировки электрозавдвижек на всосе и нагнетании ЦК-201/1,2,3. 4. Если понизить температуру в Р-202 не удалось, открыть подачу водяного пара в Р-201 через регулирующий клапан FCE 2-155-1,2 и запорную арматуру на линии подачи пара. Прекратить подачу воздуха в Р-202, для чего закрыть электрозавдвижки на нагнетании и перевести на «свечу».

Пример разработки системы продукционных правил

Модели представления знаний: продукционные. Составить систему продукционных правил и записать продукционную модель представления знаний по управлению технологическим процессом получения лидокаина гидрохлорида (стадии ТП- 3.1., ТП- 3.2).

- ТП- 3.1. Получение ацетонового раствора 2-диэтиламино-2',6'-ацетксилидида. В аппарат Р-29 из мерника М-30 загружают ацетон($m=2,337$ т, $\rho=595,5$ кг/м³) и при работающей мешалке через люк загружают основание лидокаина($m=0,923$ т, $\rho=790$ кг/м³). Суспензию перемешивают в течение 30-40 мин до полного растворения продукта. Через люк загружают активированный уголь($m=0,047$ т) и массу перемешивают еще 30 мин. Полученную суспензию фильтруют на друк-филтре Ф-31. Уголь на фильтре трижды промывают ацетоном($m=0,916$ т, $\rho=789,6$ кг/м³) через аппарат Р-29. Ацетоновый раствор основания лидокаина и промывной ацетон с Ф -31 направляют в аппарат Р -32 на операцию ТП-3.2. Уголь с фильтрующим материалом направляют на термическое обезвреживание. Общее время на стадии 5,5 часов.
- ТП-3.2. Получение лидокаина гидрохлорида. К ацетоновому раствору основания лидокаина ($m=4,139$ т, $\rho=635,5$ кг/м³) при работающей мешалке в аппарате Р-32 из мерника М-33 в течение 30-40 мин прибавляют соляную кислоту($m=0,407$ т, $\rho=1183$ кг/м³). Температура массы при этом поднимается до $40+2^{\circ}\text{C}$. Прибавление кислоты ведут до рН массы 3,5-4. Пуском захоленной воды в рубашку аппарата раствор охлаждают до температуры $20+2^{\circ}\text{C}$, вносят затравку лидокаина гидрохлорида и перемешивают массу в течение 3 ч. Пуском рассола в рубашку аппарата Р-32 суспензию охлаждают до температуры $3+2^{\circ}\text{C}$, перемешивают в течение 1 ч и передают на фильтрацию. Общее время на стадии 6 часов.