

МАТЕМАТИЧЕСКИ-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ОБЪЕМОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

В.А. Котов, Е.И. Громаков, А.В. Лиепиныш
Томский политехнический университет
vladimirkotov91@mail.ru

Под объемом автоматизации объекта управления (ОУ) понимают его оснащенность средствами автоматизации контроля и управления, которая определяет реальные возможности автоматического получения информации о ходе технологического процесса (ТП) и (или) состоянии ОУ и использования этой информации для достижения целей управления.

Целью данной работы является развитие методологии выбора (определения) проектного объема автоматизации технологических процессов.

Уже на раннем развитии АС методология их проектирования была описана как в работах российских, так и зарубежных специалистов. Chen [1] предложил осуществлять проектирование вертикальной иерархии АС с точки зрения временной шкалы и целей управления, а Stephanopoulos [2] выделил пять этапов проектирования: операционный анализ, определение входов и выходов операций, проектирование рецикловых подсистем, расчет целей и ограничений для каждого ОУ и интеграцию подсистем автоматизации.

В большинстве современных методологий проектирования АС решаются 5 задач [3]: выбор контролируемых переменных, выбор манипулируемых переменных, выбор каналов измерения, выбор конфигурации управления и выбор алгоритма управления.

В соответствии с этим структура АС проектируется с использованием математической или процессно-ориентированной нотаций или обоих вместе.

Математическая нотация основывается на расчетных уравнениях, количественных моделях оптимизации с применением различных математических средств. В основе ее лежит расчет степеней свободы технологического процесса (Degrees of Freedom, DOF).

Степень свободы равна разности между числом переменных m (полная математическая модель системы) и числом связей n между переменными. Степень свободы характеризует число свободных переменных и соответствует числу управляемых переменных, с использованием которых можно стабилизировать ТП и оптимизировать его стоимость (расходы) и качество. Степень свободы – это число независимых переменных, которые необходимы и достаточны для управления процессом функционирования ОУ.

Различают две концепции проектных решений АС – PWC и CIM.

Структуризация АС, основанная на концепции Plantwide Control (PWC) (рис.1), обеспечивает выбор архитектурных решений управления производством в целом в классе оптимизационных алгоритмов управления, например, в классе Model Predictive Control (MPC), с акцентом на выбор структурного решения оптимизационной задачи управления, которое представляется в виде многослойной информационной архитектуры. При этом взаимосвязь верхних слоев с нижними определяется виде множества уставок (SP) контуров автоматического регулирования. Управление уставками используются для того, чтобы максимизировать эффективность процесса на нижележащем слое структуры PWC.

Интеграционный принцип (Computer Integrated Manufacturing, CIM) – это концепция формирования системы автоматизации на основе многоуровневой архитектуры взаимодействующих информационных систем управления, это автоматизированное управление в целом производственной деятельностью с акцентом на выбор интерфейсного решения (чаще всего OPC-взаимодействия) различных автоматизированных модулей управления (SCADA, MES и ERP), которое представляется в виде многоуровневой архитектуры.

При проектировании автоматизации технологических объектов с большим числом варьируемых переменных создание оптимальной стратегии управления, ее эффективность и простота зависят во многом от выбора «удачного набора» свободных (управляемых) переменных.

Для этого степень свободы присваивается той независимой управляемой переменной процесса, изменение которой в максимальной степени будет влиять на один или более ключевой показатель, характеризующий ценность ТП.

Математически задача оптимизации технологического процесса может быть формализована в виде трех составляющих (максимизации стоимости (J), удовлетворения заданных требований технической спецификации (s.t.) и операционных ограничений (g):

$$\begin{aligned} \min J(x, u_{ss}, d), \\ \text{s.t. } f(x, u_{ss}, d), \\ g(x, u_{ss}, d) \leq 0, \end{aligned}$$

где u_{ss} – контролируемые переменные ТП; d – возмущения; x – переменные состояния ОУ и ТП.

Типичная функция стоимости J представляется в виде:

$$-J = \sum_i k_{p_i} P_i - \sum_i k_{F_i} F_i - \sum_i k_{Q_i} Q_i,$$

где P_i – выходная продукция ТП; F_i – исходные компоненты; Q_i – обеспечение производства продукции (тепло, электричество, газ и др.).

При расчете объема автоматизации в дополнение к управляемым свободным переменным следует определять переменные, которые участвуют в формировании функционала оптимизации. Число таких переменных определяет стационарную степень свободы процесса. При определении числа стационарных степеней свободы (N_{ss}) различают следующие методы:

1. Расчет на основе уравнений.

N_{ss} = «число уравнений/технических требований» – «число переменных».

Этот метод довольно трудоемок при применении и требует от исполнителя хороших знаний по математике процессов. Такой подход может быть подвержен ошибкам, так как есть вероятность написать слишком много или слишком мало уравнений.

2. Расчет на основе подсчетов переменных.

Обычно система уравнений математической модели технологического объекта содержит избыток информационных переменных по сравнению с числом уравнений. Этот избыток определяет число независимых (свободных) переменных, которыми следует управлять с использованием средств автоматизации. Согласно [3] степень свободы технологического процесса удобно вычислять по формуле:

$$DOF = S_i + S_o + H - A,$$

где S_i – число входных переменных, S_o – число выходных переменных, H принимает значение 1, если извне в процесс поступает энергия, иначе 0, A принимает значение 1, если не используется (не контролируется) одна из переменных, характеризующих приход/расход процессной продукции иначе $A = 0$.

3. Расчет на основе числа клапанов (исполнительных устройств) (N_{valves}) [7].

$$N_{ss} = N_{valves} - N_{ons} - N_{specs},$$

N_{ons} – число выходных переменных, не участвующих в стоимостном эффекте, но которые необходимо контролировать (обычно это уровни жидкости в резервуарах);

N_{specs} – число контролируемых переменных, установленных техническими требованиями и не участвующими в создании стоимостного эффекта.

Пример расчета числа стационарных степеней свободы дистиляционной колонны (рис.1):

Здесь $N_{valves} = 6$; $N_{ons} = 2$ (число уровней жидкости); $N_{specs} = 2$ (число специфицированных переменных), которые могут обеспечить улучшение динамики производительности процесса дистиляции, но которые не участвуют в создании стоимостного эффекта из-за ограничения заданного эксплуата-

ционной документацией (пусть это будут давление P и поток подачи F); $N_{ss} = 6 - 2 - 2 = 2$ это рефлюксные потоки L и V . Они независимы и могут быть переменными функциями оптимизирующего стоимостного функционала.

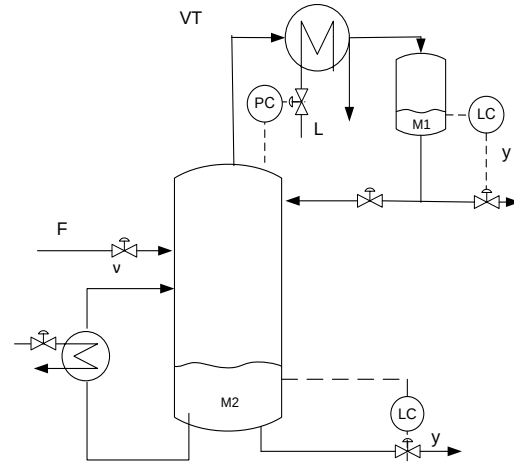


Рис.1 Дистиляционная колонна

Используя технику вычисления DOF , нетрудно определить объем достаточной автоматизации как сумму:

$$N_c = N_{ss} + N_{valves} + N_{ons} + N_{specs}.$$

Этот объем автоматизации должен быть расширен за счет учета необходимости контроля предельных и аварийных значений переменных соответственно N_{valves} , N_{ons} , N_{specs} .

Вывод

Для расчета объемов автоматизации технологических процессов можно использовать математическую методологию на основе расчета DOF . При этом расчет необходимого объема автоматизации должен включать суммирование числа стационарных степеней свободы, устанавливаемых на оптимизирующих слоях PWC-автоматизации и числа манипулируемых, контролируемых переменных. С учетом дополнительных требований противоаварийной защиты к полученному необходимому объему автоматизации следует добавить предельные и аварийные ограничения.

Список литературы

1. Chen, R., & McAvoy, T. J. . Plantwide control system design: Methodology and application to a vinyl- acetate process. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 42(20). 2003.
2. G. Stephanopoulos, *Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1984.
3. Skogestad, S. *Plantwide Control*. NTNU. 2006.