

УДК 658.52.011.56

С.М. Кулаков, Д.В. Торопов

## О ФУНКЦИЯХ СТИМУЛИРОВАНИЯ РАЗРАБОТЧИКОВ И ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

При разработке современных интеллектуальных систем управления для объектов химической промышленности необходимо учитывать особые требования к безопасности ведения процесса, к эффективности решений формируемых управляющей системой. Качество работы интеллектуальной системы управления (ИСУ) напрямую зависит от заинтересованности специалистов, осуществляющих её внедрение и эксплуатацию. Как показано в работе [1] управляющая система должна через посредство мотивации ориентировать специалистов к повышению эффективности компьютерной части ИСУ. Система мотивации должна иметь четко регламентированную функцию расчета оценки деятельности каждого специалиста, с учетом его зоны ответственности. При этом необходимо учитывать особенности работы технологического персонала химической отрасли. К таким особенностям относятся: сменность работы (процесс производства является безостановочным), наличие множества критериев эффективности работы установок, значительная зависимость технологического режима от внешних факторов, таких как качество (состав) сырья, температура и влажность окружающего воздуха, износ технологического оборудования, опасность процесса для здо-

ровья людей и экологической обстановки.

При разработке механизма стимулирования ИСУ колонной синтеза аммиака были рассмотрены следующие специалисты: инженер по знаниям, отвечающий за наполнение и актуализацию экспертной базы знаний ИСУ; инженер технической поддержки, осуществляющий разработку и сопровождение программного обеспечения; оператор-технолог (носитель знаний об эффективных способах управления колонной синтеза), отвечающий за принятие решений и реализующий управляющие воздействия.

Функции специалистов, участвующих в процессе разработки и внедрения ИСУ колонны синтеза аммиака, дифференцированные по этапам, представлены в табл.1.

Краткие пояснения к перечисленным в таблице этапам:

- разработка функциональной структуры и алгоритмов работы ИСУ включает проектирование алгоритмов и программ, а также их апробацию в лабораторных условиях с использованием ретроспективных данных;
- задача ИСУ в режиме активного советчика[2], при выполнении им функции регулирования, состоит в стабилизации технологического

Таблица 1 – Функции персонала на этапах создания ИСУ

Этапы разработки и внедрения ИСУ	Инженер по знаниям	Инженер технической поддержки	Оператор-технолог
Этап 1. Разработка ИСУ с использованием натурных данных	Наполнение экспертной базы знаний	Разработка и проверка алгоритма функционирования ИСУ	Ручное управление технологическим процессом
Этап 2. Опытное функционирование ИСУ в режиме активного советчика	Совместная работа с операторами по оценке и отбору решающих правил, анализ эффективности работы ИСУ.	Устранение обнаруженных ошибок в работе алгоритма управления ИСУ	Анализ советов ИСУ и принятие оперативных решений собственным опытом
Этап 3. Автоматическое регулирование			Эвристическое задание уставок регуляторам
Этап 4. Автоматическое регулирование включающее работу ИСУ в режиме активного советчика-оптимизатора уставок		Корректирование математической модели объекта, настройка сглаживающих фильтров.	Задание уставок исходя из собственного опыта и советов ИСУ.
Этап 5. Автоматическое управление, включая оптимизацию режимов		Анализ эффективности функционирования ИСУ.	Текущий контроль системы автоматического регулирования
Этап 6. Актуализация ИСУ	Обновление базы знаний	Корректировка программного обеспечения ИСУ.	Ручное управление технологическим процессом ИСУ

режима в окрестности уставок технологических параметров, заданных оператором технологом. Апробация разработанных алгоритмов в рамках действующей системы управления состоит в их ситуационном подключении параллельно действующим алгоритмам без замыкания через них контура управления;

- работа ИСУ в режиме автоматического регулирования состоит в выборке управляющих воздействий алгоритмом решателя с использованием правил экспертной базы знаний, сформированных на предыдущем этапе, при этом уставки режимных параметров, как и на предыдущем этапе, выбирает оператор;

- работа ИСУ и в качестве автоматического регулятора и, одновременно, в качестве советчика-оптимизатора, состоит в использовании математической модели процесса для отыскания уставок, соответствующих оптимальному технологическому режиму, в нашем случае – по критерию максимальной производительности колонны синтеза аммиака, при этом выработка уставок регуляторов осуществляется с участием операторов-технологов;

- ИСУ переводится на полное автоматическое управление технологическим процессом после подтверждения эффективности советов ИСУ как при регулировании, так и при оптимизации уставок. На этом этапе персонал выполняет функции контроля работы ИСУ и, в случае необходимости, корректировки алгоритмов ее работы;

- при внесении изменений в технологический процесс или после реконструкции колонны синтеза осуществляется изменение алгоритмов системы управления по тем же методикам, которые используются при изначальной ее разработке.

Для того чтобы оценить эффективность работы оператора-технолога необходимо сравнить производительность колонны синтеза в периоды времени когда действия оператора и решения советчика совпадают, с теми периодами, когда они отличаются. Соответствующая оценка производительности колонны синтеза аммиака представлена в работе [3]. Среднечасовая производительность агрегата, соответствующая периодам времени, когда рекомендации советчика и действия оператора совпадали с заданной точностью, определяется как:

$$\tilde{G}_k = \frac{1}{\sum_{i=1}^n q_{ki}} \sum_{i=1}^n q_{ki} \hat{G}_{ki}, [т/ч] \quad (1)$$

где  $k = 1,4$  – индекс оператора-технолога;  $i = 1, n$  – индекс единичного интервала времени (например, 1 час);  $n$  – количество единичных интервалов во временном промежутке, за который производится оценка эффективности работы (например, 1 месяц);  $\hat{G}_{ki}$  – оценка производительности колонны синтеза за  $i$ -ый интервал времени при работе  $k$ -го

оператора [3];  $n_k$  – количество единичных интервалов работы  $k$ -го оператора за оценочный интервал времени,  $q_{ki}$  – функция совпадения управляющих воздействий:

$$q_{ki} = \begin{cases} 1, & \text{при } |u_{ij}^O - u_{ij}^C| \leq \Delta u_j \text{ для всех } j \in J_n \\ 0, & \text{при } |u_{ij}^O - u_{ij}^C| > \Delta u_j \text{ для одного из } \\ & j \in J_n \end{cases} \quad (2)$$

где  $u_{ij}^O, u_{ij}^C$  – управляющее решение, выбранное  $k$ -ым оператором и советчиком соответственно;  $\Delta u_j$  – допустимое различие между управлениями;  $j \in J_n$  – индекс канала управления.

Производительность агрегата в периоды времени, когда действия оператора-технолога и рекомендации советчика не совпадают можно оценить следующим образом:

$$\tilde{\tilde{G}}_k = \frac{1}{n_k - \sum_{i=1}^n q_{ki}} \sum_{i=1}^n (1 - q_{ki}) \hat{G}_{ki}, [т/ч] \quad (3)$$

Функцию материального стимулирования (премии  $\sigma_\mu^k$ ) по результатам работы  $k$ -го оператора за  $\mu$ -ый месяц можно представить как:

$$\sigma_\mu^k = \begin{cases} \Pi_1^O, & \text{при } \tilde{G}_k \geq \bar{G}_\mu \text{ или } \tilde{\tilde{G}}_k \geq \bar{G}_\mu, \\ \Pi_2^O, & \text{при } \tilde{G}_k < \tilde{\tilde{G}}_k < \bar{G}_\mu, \\ \Pi_3^O = 0, & \text{при } \tilde{G}_k < \tilde{\tilde{G}}_k < \bar{G}_\mu, \end{cases} \quad (4)$$

где  $\bar{G}_\mu$  – среднечасовая производительность колонны синтеза аммиака за  $\mu$ -ый месяц.

При этом размеры премий должны соответствовать отношениям:  $\Pi_1^O > \Pi_2^O > \Pi_3^O$ .

Для инженеров по знаниям и технической поддержке ИСУ функция стимулирования может быть представлена в виде:

$$\sigma_\mu^H = \begin{cases} \Pi_1^H, & \text{при } \tilde{G}_\mu \geq \tilde{\tilde{G}}_\mu \\ \Pi_2^H, & \text{при } \tilde{G}_\mu < \tilde{\tilde{G}}_\mu \text{ и } \frac{n_\mu}{n} \geq M \\ \Pi_3^H = 0, & \text{при } \tilde{G}_\mu < \tilde{\tilde{G}}_\mu \text{ и } \frac{n_\mu}{n} < M \end{cases} \quad (5)$$

где  $\tilde{G}_\mu, \tilde{\tilde{G}}_\mu$  – производительность колонны синтеза аммиака соответствующая моментам времени, когда решения советчика и действия оператора совпадали и не совпадали соответственно, за  $\mu$ -ый месяц;  $n_\mu$  – количество единичных интервалов за  $\mu$ -ый месяц, когда выполнялось условие примерного равенства реализованных и рекомендованных советчиком управляющих воздействий за  $\mu$ -ый месяц,  $M = 0,1$  – пороговое значение отношения единичных интервалов, когда операторы

Таблица 2 – Пример распределения премий по результатам управления колонной синтеза

Оператор-технолог	Произ-сть	Январь	Премия	Февраль	Премия	Март	Премия
	$\bar{G}_\mu, \text{т/ч}$	73,03		65,48		71,75	
№1	$\tilde{G}_1, \text{т/ч}$	73,28	$P_1$	63,49	$P_1$	71,68	$P_2$
	$\tilde{\tilde{G}}_1, \text{т/ч}$	72,94		66,04		71,66	
№2	$\tilde{G}_2, \text{т/ч}$	72,78	$P_3$	65,12	$P_2$	71,36	$P_3$
	$\tilde{\tilde{G}}_2, \text{т/ч}$	72,88		64,65		71,46	
№3	$\tilde{G}_3, \text{т/ч}$	73,14	$P_1$	66,32	$P_1$	72,04	$P_1$
	$\tilde{\tilde{G}}_3, \text{т/ч}$	73,02		66,03		72,37	
№4	$\tilde{G}_4, \text{т/ч}$	73,34	$P_1$	64,85	$P_1$	71,86	$P_1$
	$\tilde{\tilde{G}}_4, \text{т/ч}$	73,17		65,61		71,58	
Инженер технической поддержки	$\tilde{G}_\mu, \text{т/ч}$	73,13	$P_1$	64,95	$P_1$	71,74	$P_1$
	$\tilde{\tilde{G}}_\mu, \text{т/ч}$	73,01		65,58		71,77	

пользовались советами ИСУ, к общему количеству интервалов. Если соотношение  $n_\mu/n$  меньше  $M$ , то вероятно имеет место случайное совпадение советов ИСУ и действий операторов, а значит эффективность системы управления низкая, в противном случае, можно говорить о том, что операторы пользуются советами, вырабатываемые экспертной системой. Значение  $M$  – по мере внедрения и эксплуатации системы управления необходимо корректировать в большую сторону для стимулирования инженерного персонала к повышению качества советов. Соотношение размеров премий для инженеров определяется аналогично операторам-технологам  $P_1^I > P_2^I > P_3^I$ .

Проведем виртуальный эксперимент с использованием натуральных данных, где соотношение  $n_\mu/n = 0,2$ , а величина  $q_k$  для каждого единичного интервала определена с помощью случайных чисел.

Производительность колонны синтеза получена по реальным данным за три месяца эксплуатации колонны синтеза аммиака. Результаты эксперимента представлены в табл.2.

По мере накопления опыта эксплуатации ИСУ целесообразно изменять структуру и параметры функции стимулирования таким образом, чтобы поощрять персонал на повышение качества управляющих воздействий. Так для инженеров технического сопровождения ИСУ по мере увеличения количества используемых операторами советов важно увеличивать параметр  $M$ . Для операторов-технологов, по мере повышения производительности колонны синтеза аммиака, необходимо использовать в качестве сравниваемого значения не среднечасовую производительность  $\bar{G}_\mu$ , а лучшие показатели смен за предыдущие месяцы работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: МПСИ, 2005. – 584с.
2. Авдеев В.П. Многоканальные конкурсные механизмы в активных системах / В.П. Авдеев, В.Н. Бурков, А.К. Еналеев // Опыт использования распределенных систем управления технологическими процессами и производством. – М., 1986.
3. Кулаков С. М., Торопов Д. В., Вестник КузГТУ №2 2014, Оперативная оценка эффективности процесса синтеза аммиака в трехполочной колонне, стр. 85-88.

Авторы статьи

Кулаков Станислав Матвеевич

докт. техн. наук, проф., каф. автоматизации и информационных систем СибГИУ,

email: [kulakov-ais@mail.ru](mailto:kulakov-ais@mail.ru)

Торопов Денис Валерьевич

аспирант каф. автоматизации и информационных систем СибГИУ, email: [denis-toropov@mail.ru](mailto:denis-toropov@mail.ru)

,Поступило в редакцию 17.12.2014