

## ВВЕДЕНИЕ

В этом номере обсуждается проблематика построения систем поддержки принятия решений (СППР) в производстве. Широта постановок, предлагаемых авторами, отражает реальную востребованность СППР в самых разнообразных промышленных задачах. В номере представлены направления исследований и разработок, которые условно можно объединить в три направления.

1. *Построение конкретных СППР и используемых в них методов моделирования производственных процессов.* В работе Ю.Г. Дрекса и О.М. Лыкова описывается СППР, позволяющая подобрать оптимальные варианты реорганизации производства при различных значениях текущих и желаемых новых технологических параметров. Д.А. Смирнова и соавторы предлагают алгоритм определения параметров управления колонной разделения, благодаря которому операторы могут стабилизировать работу колонны и повысить четкость ректификации. В статье В.Г. Плехова и соавторов описывается метод идентификации состояния технологического объекта и выбора корректирующих операторских действий из базы прецедентов. Построенная на основе этого метода СППР является частью АРМ технолога установки каталитического риформинга. О.М. Проталинский и И.А. Щербатов излагают способы использования продукцион-

ных баз знаний для построения СППР в слабоформализуемых процессах на примере установки получения серы.

2. *Создание обучающих систем, развивающих навыки принятия операторских решений.* В.Ф. Киселев и соавторы предлагают систему тренинга и аттестации операторов и диспетчеров, обслуживающих магистральные газопроводы. Система строится с использованием технологий виртуальной реальности и мультимедийных приложений. Е.Л. Кулида описывает автоматизированную систему компьютерного обучения операторов технологического процесса уничтожения химического оружия.

3. *Построение и развитие инструментария СППР.* В работе А.С. Хохлова и соавторов предлагаются автоматизированные средства настройки оптимизационных систем, поддерживающих ЛПР в задаче оптимального планирования непрерывных производств. Е.Н. Данилов с соавторами обосновывают новый подход к построению имитационных моделей, обеспечивающий эффективную поддержку решений в задачах инжиниринга и обучения персонала технологических процессов.

Необычайная активность авторов не позволила разместить в этом номере все поступившие в редакцию работы. Достойные публикации статьи будут представлены в ближайших выпусках журнала.

## СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ОБНОВЛЕНИЯ СТАНОЧНОГО ПАРКА

Ю.Г. Дрекс (МИФИ), О.М. Лыков (Сургутский государственный университет)

*Описывается построение системы поддержки принятия решения в задаче реорганизации производства (РП) с помощью модели, построенной с использованием математического пакета Mathcad. Приведен пример эксперимента с моделью, в результате которого получены характеристики оптимального процесса РП по заданным параметрам моделирования.*

*Ключевые слова: система поддержки принятия решений, задача реорганизации производства, математическая модель, оптимальный процесс, параметры моделирования.*

Задача обновления станочного парка требует принятия решений, которые касаются времени начала обновления, целесообразности обновления, темпа обновления, качественных показателей замены и т.п. Подобная задача является частью общей задачи диверсификации производства. Решение этой задачи требует учета разнообразных факторов. К ним относятся, в первую очередь, технический уровень заменяемого оборудования, освобождающаяся площадь, затраты на ремонт и монтаж новых станков, потери от простоя во время замены и т.д. Несмотря на возможность аналитической постановки задачи поиска оптимума накопленной прибыли [1], решение не всегда можно найти аналитическими методами: нужно учитывать много субъективных факторов. В этих условиях можно использовать натурное моделирование [2]. С его помощью достаточно просто рассматривать и анализировать различные варианты с тем, чтобы выбрать наилучший.

*Постановка задачи.* На предприятии имеется  $N_1$  станков с производительностью  $Q_1$  и площадью  $S_1$  каждый. Данные станки относятся к первому (старому) техническому уровню. Со временем производство перестает удовлетворять требованиям рын-

ка. Уровень производства повышается путем замены станков старого технического уровня на новые в количестве  $N_2$ , производительностью  $Q_2$ ; площадь каждого и цена  $-S_2, C_2$ , соответственно. В целях обеспечения непрерывного производства замена станков производится последовательно, по мере освобождения площадей.

Следует определить число рабочих, принимающих участие в РП, и оптимальное время реорганизации так, чтобы максимизировать накопленную прибыль за весь период реорганизации. Задача решается методом натурального моделирования, используя средства пакета Mathcad [3].

Основными идеями моделирования в Mathcad являются:

- применение численного метода при анализе возможных вариантов;
- задание стохастического характера поведения модели случайным отклонением производительности оборудования от номинального;
- оптимизация параметров итеративным алгоритмом сравнения вариантов.

Данные в модели, разработанной в среде MathCad, можно отнести к одной из двух групп:

1. Входные параметры для проведения эксперимента с моделью:

- характеристики оборудования (площадь, занимаемая станком; номинальная производительность станка; случайное отклонение фактической производительности от номинальной в процентах);
- технический уровень оборудования (первый – старое оборудование, подлежащее замене, второй – новое оборудование);
- характеристики труда (производительность рабочего, коэффициент трудового участия, количество обслуживающего персонала для эксплуатируемого оборудования);
- временные характеристики (время испытания одного станка, длительность рабочей смены);
- экономические данные (тарифная ставка рабочего первого разряда, цена нового станка, стоимость единицы продукции).

2. Результаты экспериментов:

- максимальная накопленная прибыль за период замены, приведенная к максимальной длительности замены  $T$  (под максимальной длительностью замены понимается длительность замены, когда ее производит один рабочий);
- число рабочих, принимающих участие в РП;
- длительность замены;
- зависимость баланса денежных средств производства от времени для оптимального числа рабочих;
- зависимость накопленной прибыли производства от числа рабочих за период максимальной длительности замены;
- зависимость накопленной прибыли производства от темпа за период замены.

#### Методика построения модели

Построение модели выполняется в несколько этапов.

1. Составляется матрица объема выпускаемой продукции станками первого уровня в зависимости от времени. В этой матрице  $t = 0, 1, \dots, T$ ;  $k = 0, 1, \dots, K$ , где  $t$  – время,  $k$  – текущее число станков,  $K$  – общее число станков первого уровня. Элементы матрицы – это производительность старых станков с учетом отклонения фактической производительности от номинального значения.

2. Составляется матрица объема выпускаемой продукции станками второго уровня, как если бы новые станки уже эксплуатировались в том же периоде времени. Элементы матрицы заполняются с учетом случайного отклонения производительности от номинального значения. Все отклонения задаются случайными величинами, распределенными нормально в диапазоне заданной погрешности.

3. Составляется карта замены агрегатов первого уровня. Это трехмерный массив (*число рабочих*  $\times$  *время*  $\times$  *число станков*), элементы которого – двоичные числа. В этом массиве: число рабочих  $0 < n \leq n_{\max}$ , время  $t = 0, 1, \dots, T$ , число замененных станков  $k = 0, 1, \dots, K$ . Двоичная сущность элементов массива указывает на

статус работы оборудования: 1 – станок в работе, 0 – станок выведен из эксплуатации.

Заполнение ячеек карты замены агрегатов первого уровня единицами происходит в случаях, когда:

- неравенство, определяющее до каких пор работает станок, истинно:

$$t < k \cdot \left( \frac{T_1}{n} + T_2 \right), \quad (1)$$

где  $t$  – текущее время реорганизации;  $T_1$  – время, затрачиваемое для замены одного станка одним рабочим;  $T_2$  – необходимое время на испытание нового станка;  $k$  – число заменяемых станков.

В формуле (1) время  $T_1$  определяется по формуле (2):

$$T_1 = \frac{T - T_2 \cdot N_2}{N_2}, \quad (2)$$

где  $T$  – максимальное время замены;  $N_2$  – число станков второго технического уровня;

$$N_2 = E \left[ \frac{S_1 \cdot N_1}{S_2} \right], \quad (3)$$

где  $E[x]$  – целая часть  $x$ .

- неравенство, определяющее станки, не подлежащие замене (если освободившейся площади недостаточно), истинно

$$k > N_2 - 1;$$

- число рабочих, участвующих в демонтаже и монтаже станков,  $n = 0$ .

В остальных случаях элементы массива заполняются нулями.

4. Составляется карта замены станками второго уровня. Это фактически набор вариантов моментов времени, когда происходит замена станков первого уровня станками второго уровня. Заполнение ячеек карты нулями происходит в случаях, когда:

- неравенство, определяющее до каких пор станок не работает, истинно:

$$t \leq K \cdot \left( \frac{T_1}{n} + T_2 \right) + \frac{T_1}{n};$$

- неравенство, определяющее станки, не подлежащие замене, истинно:

$$k > N_2 - 1.$$

В остальных случаях элементы массива заполняются единицами.

5. Создаются массивы объема продукции, выпускаемой станками первого и второго уровня за период замены, поэлементным умножением массива произведенной продукции на карту замены станков соответствующего уровня.

6. В результате суммирования двух массивов объема продукции, произведенной станками первого и второго уровней, получается массив (*число рабочих*  $\times$  *текущее время*  $\times$  *число станков*), определяющий возможные альтернативы реорганизации.

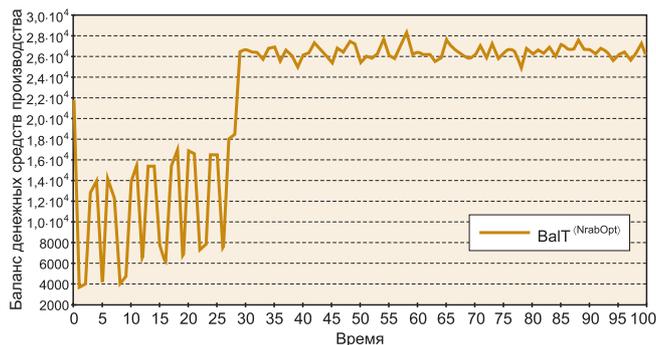


Рис. 1. График зависимости баланса денежных средств производства от времени для оптимального числа монтажников

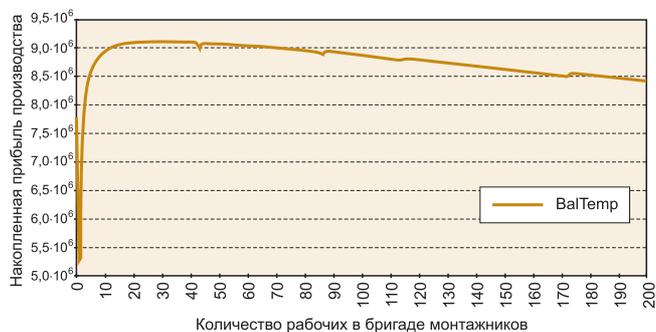


Рис. 2. График зависимости накопленной прибыли производства от числа монтажников за период реорганизации одним рабочим

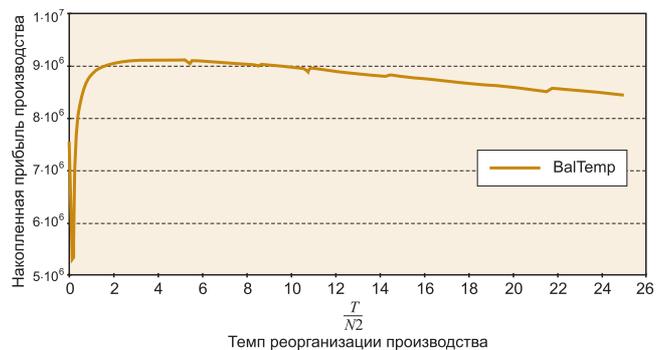


Рис. 3. График зависимости накопленной прибыли производства от темпа реорганизации производства

7. Вычисляется баланс денежных средств производства по формуле (4):

$$P(t, n) = Vq(t, n) - S_3 - S_4, \quad (4)$$

где  $V$  — стоимость единицы продукции;  $q(t, n)$  — объем выпущенной продукции в зависимости от числа рабочих и времени реорганизации;  $S_3$  — стоимость обслуживания эксплуатируемого оборудования;  $S_4$  — стоимость всего нового оборудования.

Стоимость всего нового оборудования, приведенная к одному дню, вычисляется по формуле (5):

$$S_4 = \frac{C_2}{T_C} \cdot N_2, \quad (5)$$

где  $C_2$  — цена одного нового станка.

8. Рассчитывается баланс денежных средств производства за максимальный период замены с учетом зарплаты рабочим за период реорганизации. Для этого из каждого элемента матрицы баланса денежных средств производства, который входит в фактический интервал замены, вычитается зарплата рабочих.

9. Рассчитывается накопленная прибыль предприятия в зависимости от числа рабочих, принимающих участие в демонтаже и монтаже, сложением баланса денежных средств производства по всему времени моделирования для каждого числа рабочих. В результате получается набор вариантов накопленной прибыли для каждого числа рабочих.

Для того, чтобы сравнить принятое решение с оптимальным, по мнению системы поддержки принятия решений, можно применить оптимизацию процесса замены, которая заключается в выборе варианта с максимальным значением баланса денежных средств производств.

Оптимальным числом рабочих, принимающих участие в замене оборудования, является индекс найденного максимального варианта. Оптимальный период времени замены — последний индекс ненулевого значения матрицы мгновенного баланса денежных средств производства. Оптимальный темп реорганизации вычисляется по формуле:

$$T = \frac{T_o}{N}, \quad (6)$$

где  $T_o$  — оптимальный период времени замены;  $N$  — число замененных станков.

Оптимальный темп замены, таким образом, приводится к числу дней, за которое заменяется один агрегат оптимальным числом рабочих, принимающих участие в реорганизации.

#### Анализ результатов

В качестве примера рассмотрим результаты моделирования процесса замены, полученные для определенного набора значений параметров.

На графике зависимости баланса денежных средств производства от времени (рис. 1) по оси абсцисс откладывается время замены, приведенное к максимальному времени замены, по оси ординат — баланс денежных средств производства. Полученная кривая отображает изменение баланса денежных средств производства во времени. Она показывает, что уровень функционирования производства в конечный момент времени выше, чем в начальный. Кривая построена для оптимального числа монтажников, принимающих участие в монтаже оборудования.

На графике зависимости накопленной прибыли производства от числа рабочих (рис. 2) по оси абсцисс откладывается число рабочих, по оси ординат — накопленная прибыль производства. Кривая построена для периода реорганизации одним рабочим. Из графика можно сделать вывод об оптимальном числе рабочих в

бригаде по максимальному значению накопленной прибыли производства.

На графике зависимости накопленной прибыли производства от темпа замены (рис. 3) по оси абсцисс откладывается темп замены, по оси ординат – накопленная прибыль. Кривая построена для оптимального периода замены. Из графика можно сделать вывод о целесообразном темпе замены по максимальному значению накопленной прибыли.

#### Выводы

Достоинствами модели являются:

- возможность исследования влияния параметров процесса замены на результаты моделирования;
- возможность получения рекомендаций по оптимальным значениям параметров.

Полученная модель представляет интерес с точки зрения процесса принятия решений. С ее помощью

можно рассматривать различные ситуации, создаваемые варьированием входных параметров модели (числа привлекаемых рабочих, оплаты труда рабочих, производительности станков, ценой продукции, и т.д.). Модель может служить также и для поддержки принятия решений в задаче последовательной замены оборудования производства, обеспечивая прогнозирование стратегии реорганизации с наибольшей экономической выгодой.

#### Список литературы

1. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений: Научно-практическое издание. Серия "Информатизация России на пороге XXI века". – М.: СИНТЕГ, 1998. – 376 с.
2. Труб И.И. Объектно-ориентированное моделирование на С++: Учебный курс. – СПб.: Питер, 2006. – 411 с.
3. Кирьянов Д.В. Самоучитель Mathcad 13.- СПб.: БХВ-Петербург, 2006.

*Древс Юрий Георгиевич – д-р техн. наук,*

*проф. Московского инженерно-физического института (государственного университета),*

*Лыков Олег Михайлович – аспирант кафедры "Автоматизированные системы обработки информации и управления" Сургутского государственного университета.*

*Контактный телефон +7 (3462) 68-66-69. E-mail: ydrevs@yandex.ru, oleg\_privatno@mail.ru*

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ КОЛОННЫ ВЫДЕЛЕНИЯ БЕНЗОЛА

**Д.А. Смирнова, В.И. Федоров, Н.В. Лисицын (СПбГТИ (ТУ))**

*Рассматривается управление работой колонного аппарата разделения на действующем нефтеперерабатывающем заводе. Предложены пути повышения эффективности процесса четкой ректификации бензола и толуола. В помощь операторам технологической установки разработан алгоритм определения оптимальных параметров регулирования. Применение полученных результатов позволило стабилизировать ТП и обеспечить бесперебойную выработку продукции нормативного качества.*

*Ключевые слова: бензол, четкость ректификации, оптимальная температура, виртуальный анализатор.*

Одним из основных продуктов нефтехимии является бензол. Он входит в состав бензина, широко применяется в промышленности, является исходным сырьем для производства лекарств, различных пластмасс, синтетической резины, красителей. Бензол содержится в сырой нефти, однако в промышленных масштабах он по большей части синтезируется из других углеводородов. С каждым годом растет общий объем потребления бензола, как ключевого соединения органического синтеза. Одновременно с этим ужесточаются требования к автомобильным топливам по содержанию в них аренов в целом и бензола в частности. В связи с этим актуальна задача повышения эффективности процессов производства бензола из нефтяного сырья, позволяющих одновременно получать ценный продукт для органического синтеза и компоненты топлив в соответствии с европейскими стандартами качества.

Цель представленной работы заключается в разработке рекомендаций, позволяющих устанавливать оптимальные параметры для поддержания штатного режима работы промышленного объекта и прогнозировать наступление предаварийных состояний. В качестве объекта управления рассматривается процесс четкой ректификации бензола и толуола, осуществ-

ляемый на действующем нефтеперерабатывающем заводе, на установке бензольного риформинга [1].

На установку подается сырье различного состава. Помимо основного компонента – бензиновой фракции 62...105°С – на смешение в блок риформинга могут подаваться полупродукты комплекса орто-пара-ксилолов – доксилольная и бензолсодержащая фракции. Первая содержит преимущественно толуол (в количестве до 35 % масс), вторая – бензол (до 40 % масс). Сырьем колонны выделения бензола является отделенный от воды экстракт ароматических углеводородов бензола и толуола с незначительной примесью изомеров ксилолов. Соотношение же бензола и толуола в потоке колеблется в диапазоне 1,1...2.

Процесс проводится в ректификационной колонне. В качестве верхнего продукта получается товарный бензол, в качестве нижнего – смесь толуола и углеводородов С8 (ксилолы и этилбензол). Управление процессом осуществляется путем изменения расхода подачи горячей струи в низ колонны и острого холодного орошения на верхнюю тарелку. Регулировка производится по температуре на контрольной тарелке 22. Принципиальная схема управления процессом с использованием математической модели приведена на рисунке 1.