

**В. В. Кабанов, А. В. Мушнин, В. В. Елизаров,  
В. И. Елизаров**

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУСКА УСТАНОВКИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ДЕБУТАНИЗАЦИИ СЫРЬЯ

*Ключевые слова: экспериментально-статистический, регрессионный анализ.*

*Проводится экспериментально-статистический и регрессионный анализ математической модели пуска установки предварительной дебутанизации сырья.*

*Keywords: experimental and statistic, regression analysis.*

*Conducted experimental and statistical regression analysis of the mathematical model pre-start installation debutanization raw.*

### Введение

Операция пуска технологической установки является наиболее сложной задачей в процессе ее эксплуатации. Задача выбора оптимальных управляющих воздействий в режиме пуска при строгом соблюдении требований регламента является актуальной для большинства эксплуатируемых объектов.

Задача минимизации влияния человеческого фактора обычно решается путем разработки и внедрения обучающих систем, например, компьютерных тренажеров [1,2]. Другим вариантом решения проблемы является разработка автоматизированных систем пуска, позволяющих обойтись без участия человека. При этом главной задачей является математическое моделирование режима пуска и нормальной эксплуатации технологической установки.

Как правило, в таких случаях информации о рассматриваемом процессе недостаточно и процесс настолько сложен, что невозможно составить его детерминированную модель. Использование экспериментально-статистических методов позволяет рассмотреть процесс как “черный ящик”. Для получения информации об объекте проводится эксперимент. Различают пассивный и активный эксперимент.

Пассивный эксперимент, применяемый в данной работе, является традиционным методом, когда ставится большая серия опытов с поочередным варьированием каждой из переменных. К пассивному эксперименту относится также сбор исходного статистического материала в режиме нормальной эксплуатации на промышленном объекте. Обработка опытных данных в этом случае для получения математической модели проводится методами классического регрессионного и корреляционного анализа. В нашем случае используются значения технологических параметров установки предварительной дебутанизации сырья в период пуска установки.

### Экспериментально-статистический метод

Используя при обработке опытных данных принцип регрессионного и корреляционного анализа, удастся найти зависимость между переменными и условиями оптимума. В обоих случаях математической моделью является функция отклика, связывающая параметр оптимизации, характеризующий результаты эксперимента, с переменными параметрами, которыми экспериментатор варьирует при

проведении опытов.

При использовании статистических методов математическая модель представляется в виде полинома – отрезка ряда Тейлора, в который разлагается неизвестная зависимость. Вид уравнения регрессии выбирается путем экспериментального подбора. Уравнение регрессии, описывающее связь между многими величинами, полученное на основании опыта, записывается следующим образом:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k,$$

где  $b_0, b_j, b_{ij}, b_{jj}$  – выборочные коэффициенты регрессии, являющиеся оценками теоретических коэффициентов.

Коэффициенты уравнения определяются методом наименьших квадратов из условия:

$$\Phi = \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 = \min,$$

где  $N$  – объем выборки из всей совокупности значений исследуемых параметров.

После того как уравнение регрессии найдено, необходимо провести статистический анализ результатов (регрессионный анализ). При этом проверяется значимость всех коэффициентов регрессии в сравнении с ошибкой воспроизводимости и по критерию Фишера устанавливается адекватность уравнения:

$$F = S_y^2 / S_{ост}^2,$$

где  $S_y^2$  – дисперсия относительно среднего,  $S_{ост}^2$  – остаточная дисперсия.

Чем больше  $F$  относительно табличного для выбранного уровня значимости  $p$  и чисел степеней свободы, тем эффективнее уравнение регрессии [3,4].

### Описание технологической схемы узла предварительной дебутанизации сырья

На примере узла предварительной дебутанизации проведем регрессионный анализ математической модели.

Узел предварительной дебутанизации сырья предназначен для разделения широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) на пропан-бутановую фракцию (фракция С3–С4) и нестабильную бензи-

новую фракцию методом ректификации в колонне тарельчатого типа E-DA-105. Процесс разделения проводится при давлении 8,0...10 кгс/см<sup>2</sup>, температуре куба не более 120 °С, температуре верха колонны 68 °С. Перед поступлением в колонну ШФЛУ подогревается до температуры 85 °С и частично испаряется в подогревателе E-EA-132 за счет теплоты закалочной воды, охлаждаемой от 100 до 65 °С. Выходящие сверху колонны E-DA-105 пары фракции С3, С4 поступают в дефлегматор E-EA-130, где производится их охлаждение и конденсация части потока, необходимой для орошения колонны. Далее пары направляются во флегмовую емкость E-FA-130. Газообразная фракция С3–С4 из флегмовой емкости поступает на газовые печи пиролиза. Давление в колонне регулируется подачей пара в кубовый кипятильник клапаном FCV2.

Автоматизированный пуск установки выполняется системой управления, все регуляторы переведены в ручной режим, степень открытия регулирующих клапанов задаётся программно, с учетом разработанных математических моделей. Пуск установки состоит из следующих этапов:

- 0 часов:
- 1) Воздействуя на регулирующие клапана FCV3 и TCV2 начать подачу и подогрев питания в колонну.
- 2) Воздействуя на регулирующий клапан LCV3, начать конденсацию паров верха колонны.
- 3) Открыть отсечной клапан ОК-16 и регулирующий клапан PCV1 для сброса излишков фракции на факел.
- 4) Произвести набор давления до 8-9 кг/см<sup>2</sup>.
- 18 часов:
- 5) Начать отбор пропан-бутановой фракции на печи пиролиза, воздействуя на регулирующий клапан FCV5.
- 6) Прекратить сброс фракции на факел, закрыть отсечной клапан ОК-16, регулятор PICA1B перевести в автоматический режим.
- 7) Начать подачу пара в кипятильник, воздействуя на регулирующий клапан FCV2.
- 8) Начать отбор кубового продукта колонны, воздействуя на регулирующий клапан FCV1.
- 9) Далее производить набор питания в колонну и пара в кипятильник, воздействуя на регулирующие клапана FCV3 и FCV2 соответственно, до достижения мощности по отбору пропан-бутановой фракции в 50 т/ч.
- 48 часов:
- 10) Все регуляторы перевести в автоматический режим, продолжить управление процессом в режиме нормального функционирования.

### Обработка экспериментальных данных

На основе режимных листов была сделана выборка значений технологических параметров установки с интервалом в 12 часов, представленная в таблице 1. В данной таблице содержатся данные для расхода питания в колонну (данные по прибору поз. FIC3), для расхода пара в кипятильник (данные по прибору поз. FIC2), для температуры питания (данные по прибору поз. TIC2), для уровня во флегмо-

вой емкости (данные по прибору поз. LICSA3).

**Таблица 1 – Значения технологических параметров установки предварительной дебутанизации сырья**

Время	FIC3	FIC2	TIC2	LICSA3
час	т/ч	т/ч	°С	%
0	0	0	9,518538	-5,00012
12	0	0	43,69361	43,55195
24	31,24	0	85,34088	37,64733
36	38,69	2,93	84,71498	46,49881
48	54,11	6,70	81,5649	36,58933
60	54,12	5,18	83,8451	49,8529
72	59,2	5,61	84,15746	33,90751

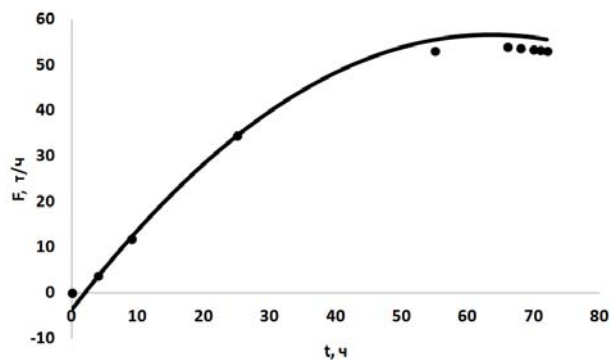
### Уравнения регрессии от времени

1) Для расхода питания была выбрана зависимость в виде уравнения регрессии, которое имеет следующий вид:

$$FIC3(t) = -3,7636 + 1,8965t - 0,0149t^2$$

Графическое изменение параметра во времени представлено на рисунке 1.

Для проверки адекватности уравнения регрессии производится расчёт критерия Фишера. Расчётное значение получилось равным 5172, табличное значение 199,5. Следовательно, уравнение адекватно.



**Рис. 1 – Зависимость расхода питания в колонну от времени по прибору поз. FIC3: — - расчетные значения; • - экспериментальные данные**

2) Для расхода пара была выбрана зависимость в виде уравнения регрессии, которое имеет следующий вид:

$$FIC2(t) = 0,29281456 - 0,18999013t + 0,01319061t^2 - 0,0001437t^3$$

Графическое изменение параметра во времени представлено на рисунке 2.

Расчётное значение критерия Фишера получилось равным 65,39, а табличное имеет значение 6,59. Следовательно, уравнение адекватно.

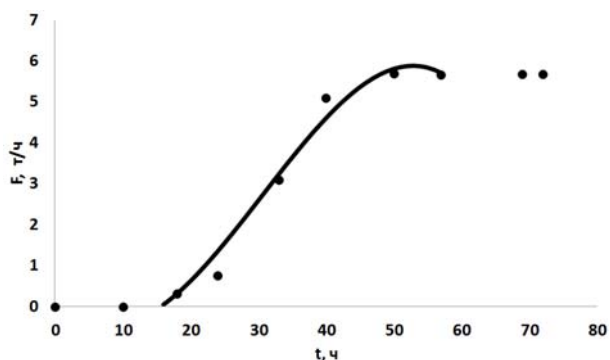


Рис. 2 - Зависимость расхода пара в кипятильник от времени по прибору поз. TIC2: — - расчетные значения; • - экспериментальные данные

3) Для температуры питания была выбрана зависимость в виде уравнения регрессии, которое имеет следующий вид:

$$TIC2(t) = 35,4446639 + 12,52745 \ln(t)$$

Графическое изменение параметра во времени представлено на рисунке 3.

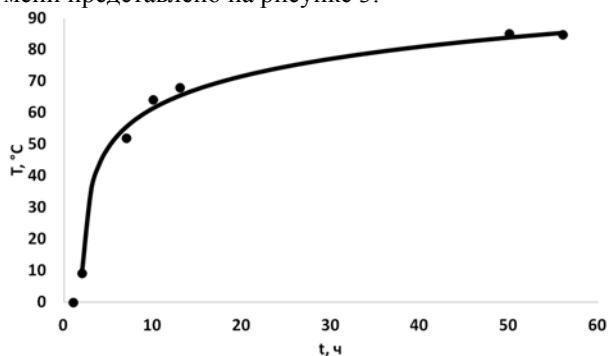


Рис. 3 - Зависимость температуры питания от времени по прибору поз. TIC2: — - расчетные значения; • - экспериментальные данные

Расчётное значение критерия Фишера получилось равным 6.6, а табличное имеет значение 331.2. Следовательно, уравнение адекватно.

4) Для уровня флегмовой ёмкости была выбрана зависимость в виде уравнения регрессии, которое имеет следующий вид:

$$LICSA3(t) = 19,31483 + 7,88646 \ln(t)$$

Графическое изменение параметра во времени представлено на рисунке 4.

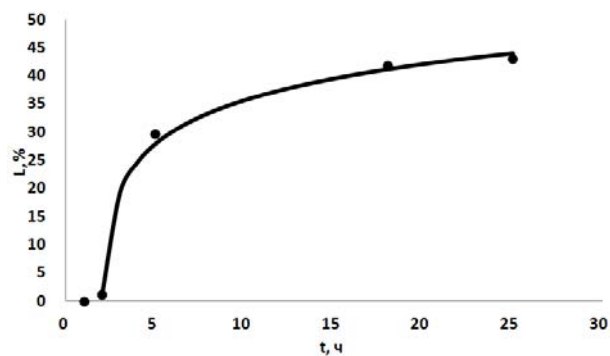


Рис. 4 - Зависимость уровня во флегмовой ёмкости от времени по прибору поз. LICSA3: — - расчетные значения; • - экспериментальные данные

Расчётное значение критерия Фишера получилось равным 5109, а табличное имеет значение 10,1. Следовательно, уравнение адекватно.

### Заключение

В ходе выполнения работы получены уравнения регрессии от времени. Проверена значимость параметров уравнения регрессии и проведена проверка уравнений на адекватность. Полученные математические модели используются в разработке программы управления пуском узла предварительной дебутанизации сырья [5].

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых № 14.Z56.14.5663-МД от 03.02.2014 г.

### Литература

1. А.В. Мушнин, Д.В. Елизаров, В.В. Елизаров, *Вестник Казан. технол. ун-та*, **15**. 8. 348–351 (2012).
2. В.И. Елизаров, Э.Р. Галеев, А.В. Мушнин, Н.Г. Смолен, И.М. Валеев, *Вестник Казан. технол. ун-та*, **16**. 20. 288–290 (2013).
3. Т. Н. Гартман, Д.В. Клушин *Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов*. Академкнига, Москва, 2008, 416 с.
4. В.В. Кафаров *Методы кибернетики в химии и химической технологии*. Химия, Москва, 1985, 448 с.
5. Авт. свид. РФ 2013618497 (2013).

© В. В. Кабанов – студент гр. 3901 НХТИ КНИТУ, kabanovvv@mail.ru; А. В. Мушнин – инженер кафедры АТПП КНИТУ, aleksey\_muschinin@mail.ru; В. В. Елизаров – д-р техн. наук, профессор, директор НХТИ КНИТУ, pd@nchti.ru; В. И. Елизаров – д-р техн. наук, профессор, зав. каф. автоматизации технологических процессов и производств НХТИ КНИТУ, atrp.nchti@mail.ru.