

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ПО ПРОИЗВОДСТВУ
УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО ПОДХОДА****В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов, А.Е. Майоров (Кемерово)**

Увеличивающийся спрос на сорбентные материалы и кокс в Европе, Китае, Индии и других активно развивающихся странах все больше усиливает роль угля в энергетике. Необходимым условием развития энергетической отрасли является разработка современных комплексов по переработке угля и производству сорбентных материалов. В этой связи актуально оперативное решение задач проектирования и ввода в эксплуатацию таких комплексов, основанных на перспективных энергоэффективных безотходных технологиях.

В Институте угля СО РАН совместно с СКТБ «Наука» и предприятием «Сибтермо» (г.Красноярск) в рамках совместного междисциплинарного интеграционного проекта фундаментальных исследований СО РАН 2012 -2014 гг. № 29 ведутся работы по созданию модели систем комплекса по производству углеродных сорбентных материалов (ЭТК).

Для ЭТК характерны неравномерность и стохастичность поставок угля, ухудшение качества сырья вследствие многочисленных перевалок, разнообразие видов перерабатываемого сырья, наличие вспомогательных операций, периодичность и многостадийность технологических операций, сложная транспортная система, выпуск на одном технологическом оборудовании нескольких продуктов. Эти и другие специфические особенности затрудняют анализ вариантов организации взаимодействия элементов комплекса во времени и пространстве (газификаторов, конвейеров, перегружателей, углезагрузочных машин, дробильных установок).

Многолетний опыт авторов в области имитационного моделирования [1-3] показал, что указанные задачи могут быть решены с помощью дискретно-событийного моделирования.

Функционирование комплекса по производству углеродных сорбентных материалов включает как дискретные, так и непрерывные процессы. Например, дробление и газификация угля, его движение по транспортной сети конвейеров представляют собой непрерывные процессы. Перемещение углезагрузочной машины (МУЗ) между газификаторами, включение и отключение дробильной установки и конвейеров, остановка и запуск газификаторов, подача железнодорожных составов с углем являются дискретными.

Для разработки единой дискретно-событийной модели ЭТК непрерывные процессы приведены к дискретным [2]. Так, непрерывные грузопотоки L из дробильной установки, газификаторов, конвейеров представлены в виде движения дискретных объемов угля и сорбента:

$$L = \sum_{i=1}^k l_i = \sum_{i=1}^k f(t_i) \Delta t, \quad k = T / \Delta t, \quad t_i = t_{i-1} + \Delta t \quad (1)$$

где l_i – i -й дискретный объем угля или сорбента, i – порядковый номер дискретного объема, k – число дискретных объемов за сутки T , $f(t_i)$ – величина грузопотока за i -й интервал времени, t_i – i -й интервал времени, Δt – шаг квантования грузопотока по времени.

Для описания работы ЭТК применен метод дискретно-событийного моделирования на основе математического аппарата систем массового обслуживания (СМО) с компьютерной реализацией в среде GPSSWorld.

Типовые процессы в ЭТК отображены в виде СМО и представлены стандартными модулями «прием», «подготовка», «переработка», «транспортировка». Так, процесс пере-

работки угля отображен многофазной многоканальной СМО без отказов с простейшей дисциплиной обслуживания FIFO и представлен модулем «переработка» (рис. 1).

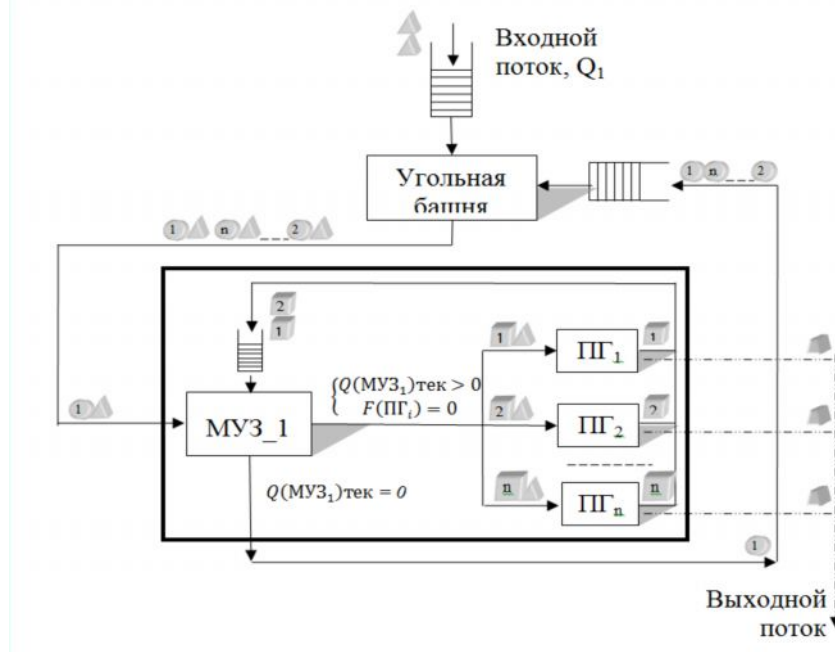


Рис. 1. Модуль «переработка»

Требованиями в СМО являются дискретные объемы угля и заявки на загрузку соответствующего газификатора. Обслуживание требований заключается в задержке их на случайное время, соответствующее выполнению операций транспортирования, дробления, сортировки, газификации в приборах, имитирующих оборудование ЭТК. Выходной поток представляет собой готовую продукцию – сорбент.

Разработаны блочно-модульные имитационные модели работы ЭТК, представленные совокупностью моделей, соответствующих указанным модулям, описанных в среде имитационного моделирования GPSSWorld. Так, например, для модели «переработка» входами j -й МУЗ C_j являются поступающий грузопоток $Q_{вх}$, заявки на обслуживание от газификаторов Z_i , заданные длины L_i (расстояния между газификаторами), скорость V_j , и приемная способность Q_{jj} -й МУЗ (рис. 2).

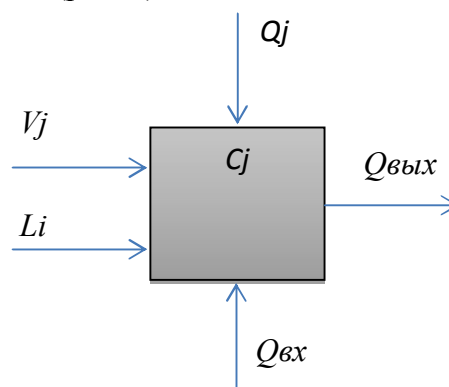


Рис. 2. Входы-выходы модели модуля «переработка»

При $Q_j \leq Q_{вх}$, происходит заполнение МУЗ и дальнейшая работа системы. В противном случае МУЗ будет ожидать заполнения перед угольной башней. Выходной грузопоток $Q_{вых}$ равен входному $Q_{вх}$ и пропорционален емкостям газификаторов:

$$Q_{\text{ВЫХ}} = \sum_{i=1}^n V_i, \quad (2)$$

где V_i – емкость i -го газификатора, n – число газификаторов, которые могут быть обслужены МУЗ за одну загрузку.

При разработке модели перемещение угля МУЗ и переработку его газификаторами можно представить задержка динамических элементов модели – транзактов в приборах, которые имитируются последовательностью блоков SEIZE-ADVANCE-RELEASE, на время

$$T_i = \frac{L_i}{V_j} + T_{\text{газ } i}, \quad (3)$$

зависящее от скорости V_j -й МУЗ и цикла работы $T_{\text{газ } i}$ -го газификатора (рис. 3).

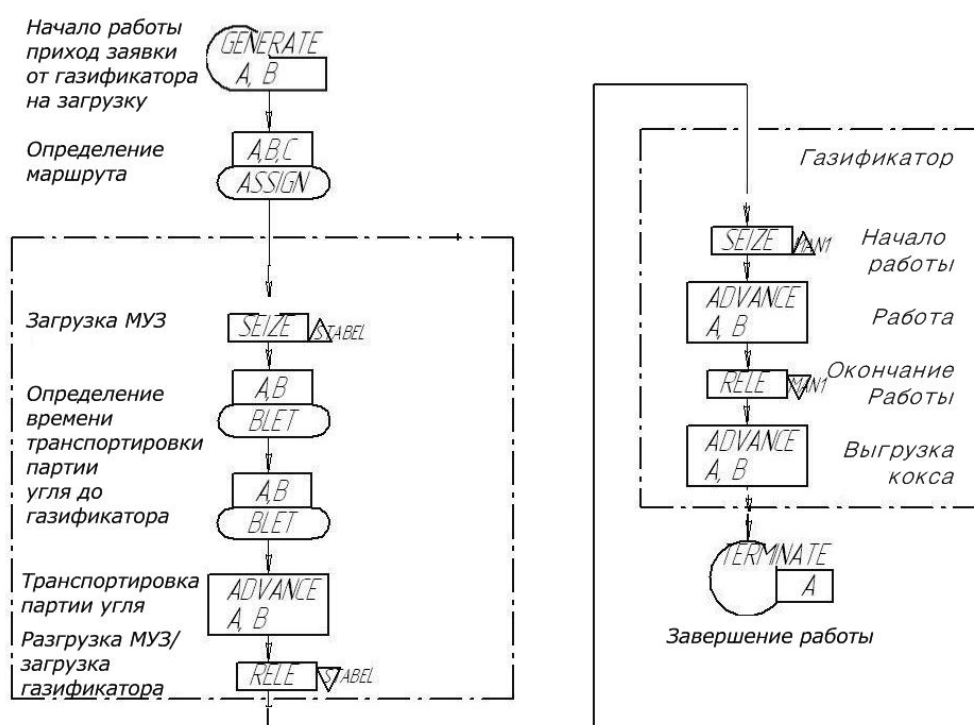


Рис. 3. Блок-схема модели «переработка»

Путем объединения модулей синтезирована модель работы ЭТК, представляющая собой сеть многофазных одноканальных и/или многоканальных СМО без отказов с простейшей дисциплиной обслуживания FIFO и ограниченным входным потоком требований.

Для верификации модели, т.е. правильности программирования концептуальной модели, использованы следующие методы [3]:

- построение логической блок-схемы и интерактивный контроль за ходом моделирования при помощи режима отладки;
- аналитический подсчет характеристик и сравнение их с модельными результатами.

Для использования второго метода модель «переработка» сведена к СМО вида $2*M/M/1$. В табл. 1 представлено сравнение результатов имитационных экспериментов и аналитических расчетов.

Таблица 1

**Сравнение результатов имитационных экспериментов
и аналитических расчетов для модели «переработка»(СМО – 2*М/М/1)**

Наименование характеристики	Первая СМО			Вторая СМО		
	Аналитические расчеты	Результаты имитационных экспериментов	Отклонение, %	Аналитические расчеты	Результаты имитационных экспериментов	Отклонение, %
Коэффициент загрузки	0,833	0,832	0,16	0,820	0,818	0,24
Вероятность, что система свободна	0,167	0,168	0,79	0,180	0,172	1,10
Ср. число требований в системе, шт.	5,000	4,996	0,08	4,556	4,551	0,10
Ср. число требований в очереди, шт.	4,167	4,110	1,38	3,736	3,730	0,15
Ср. время пребывания требования в системе, ч.	30,000	29,90	0,33	22,77	22,801	0,10

Максимальное отклонение результатов имитационных экспериментов от аналитических расчетов составило не более 1,5%. Аналогичным образом проверены имитационные модели остальных модулей ЭТК, отклонение составило не более 7%.

Так как на сегодня существует лишь проект ЭТК сравнить параметры модели с характеристиками реальной, работающей системы не представляется возможным. Валидация осуществлялась путем проведения хронометражных замеров на действующем заводе активированных углей ЗАО «Карбоника-Ф», который представляет собой упрощенный вариант модуля «переработка», и сравнения их с результатами имитационных экспериментов для одинаковых входных параметров. Вопрос о валидности модели ЭТК в целом пока остается открытым.

Так проведены исследования по определению установившегося режима работы ЭТК, последовательности загрузки МУЗ и газификаторов. На рис. 4 показана динамика заполнения угольной башни при разных условиях запуска. При запуске ЭТК с пустыми газификаторами и МУЗ (нулевой запуск) время выхода на установившийся режим составило 4000 часов, что связано с первоначальной перегрузкой транспортно-складской системы и неравномерностью распределения заявок от газификаторов по времени (рис. 4 а). Если запускать в работу ЭТК уже с заполненными МУЗ и газификаторами, система перейдет в установившийся режим за 10 дней (рис. 4 б).

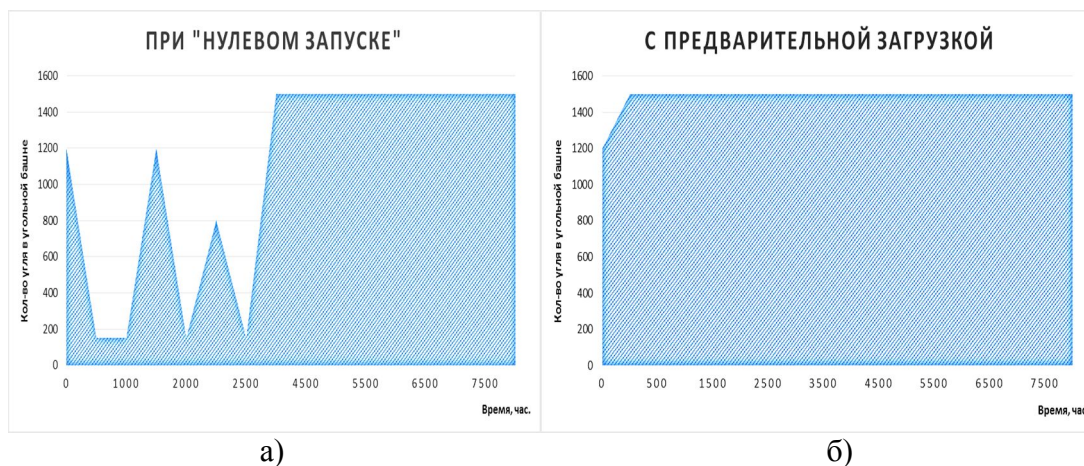


Рис. 4. Динамика изменения количества угля в угольной башне

Таким образом, в работе показан подход к моделированию комплекса по производству углеродных сорбентных материалов, заключающийся в представлении работы ЭТК в виде дискретно-событийной модели (СМО), реализация которой в среде GPSS World позволит на стадии проектирования и ввода в эксплуатацию исследовать влияние начальных условий на показатели ЭТК, оперативно анализировать варианты организации взаимодействия элементов комплекса во времени и пространстве.

Литература

1. **Конюх, В.Л.** Дискретно-событийное моделирование подземных горных работ / В.Л. Конюх, В.В. Зиновьев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 243 с.
2. **Полетаев, В.А., Зиновьев, В. В., Стародубов, А. Н., Чичерин, И. В.** Проектирование компьютерно-интегрированных производственных систем; под ред. В. А. Полетаева. – М.: Машиностроение, 2011. – 324 с.
3. **Зиновьев, В.В.** Опыт имитационного моделирования сложных производственных систем / В.В. Зиновьев, В.Н. Кочетков // Вычислительные технологии. – 2008. – № 5. – С. 51–55.
4. **Зиновьев, В.В.** Имитационный подход при моделировании энерготехнологического комплекса по переработке угля / В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов, А.Е. Майоров, В.Н. Кочетков // «Энергетик». 2013. – № 1. – С. 26–29.
5. **Стародубов, А.Н.** Определение рациональной планировки энерготехнологического комплекса Кузбасса методом имитационного моделирования / А.Н. Стародубов, В.В. Зиновьев, М.Ю. Дорофеев // Уголь. – 2010. – № 2. – С. 8–11.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009614095 «Имитационная модель транспортно-складской системы энерготехнологического комплекса», 2009.