

# Имитационная модель процесса транспортирования зерна норией как объекта управления

И.Н. Кирьязов<sup>1</sup>, В.А. Хобин<sup>2</sup>

*Аннотация* – Questions of development and results of research of imitating mathematical model of grain transportation process by bucket elevator are considered. The purpose of development – creation of the special environment for development of management algorithms and debugging of the software controllers.

*Ключевые слова* – Bucket elevator, Infringement of modes, Efficiency, Object of control, Model.

## I. ЦЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ

Нории (ковшовые элеваторы), входя в состав поточно-транспортных линий (ПТЛ) сыпучих материалов, прежде всего – зерна, являются их «узким местом», определяя время выполнения транспортной операции и энергозатраты на нее. Одновременно, нории являются потенциально взрывоопасным оборудованием. Статистика свидетельствует, что они являются источником более 50 % взрывов, вызванных нарушениями режимов работы. Последние сводятся к двум основным видам перегрузки норий: а) по массе транспортируемого зерна, когда происходит перегрузка приводного электродвигателя (ПЭД) нории, его перегрев и срабатывание реле тепловой защиты (РТЗ), событие S1; б) по объему транспортируемого зерна, когда даже при существенной недогрузке нории по массе, заполнение ковшей нории выходит на предельно достижимое значение. Ситуация «б» приводит к непрерывному повышению уровня (квазиуровня) зерна сначала в башмаке нории, а далее и восходящей ветви норийной трубы, событие S2. При достижении уровнем зерна в норийной трубе критического значения, начинается заклинивание норийной ленты этим зерном. Это сопровождается резким возрастанием нагрузки на электродвигатель, провоцированием пробуксовки ленты относительно приводного барабана, ее перегревом, возрастанием рисков ее возгорания и/или обрыва, падения в норийные трубы и первичного пылевоздушного взрыва.

Предотвратить перерастание аварийных ситуаций в аварию призваны системы аварийной защиты, которые основаны на: а) контроле уровня зерна в восходящей ветви норийной трубы; б) контроле скорости движения норийной ленты; в) контроле степени нагрева двигателя. Они отключают норию и всю ПТЛ в аварийном режиме, что имеет свои негативные последствия, которые проявляются в ускоренном износе изоляции приводных электродвигателей конвейеров ПТЛ и силовых контактов их пусковых аппаратов.

Цель управления процесса транспортирования зерна

норией в составе ПТЛ: обеспечить такую загрузку нории и всей ПТЛ зерном, при которой обеспечивается их максимальная энергетическая эффективность и, одновременно, гарантируется отсутствие возникновения аварийных ситуаций, связанных с перегрузкой нории, как по объему, так и по массе транспортируемого зерна.

## II. МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Первоочередным условием адекватности разрабатываемой модели объекту управления является отражение в ней цели управления, в частности, предотвращения событий S1 и S2 и достижения при этом максимума ее производительности  $Q_{\text{âââ}} \rightarrow Q_{\text{âââ}}^*$ . Структурная схема модели транспортирования зерна норией как ОУ приведена на рис. 1. Она описывает процессы в основных узлах нории, включая ее привод с моделями редуктора, ПЭД и его РТЗ.

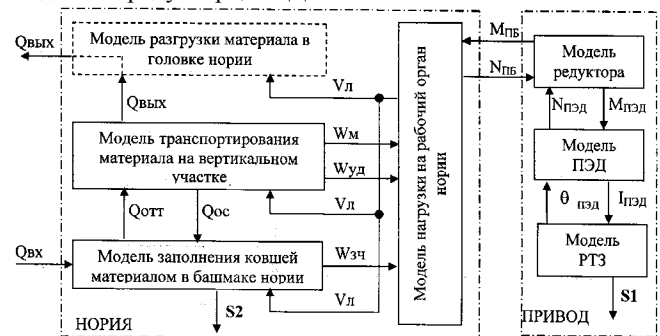


Рис. 1. Структурная схема математической модели нории  
Основные особенности нории как ОУ:

- значения критических производительностей различных нории на различных видах зерна, и, как следствие, критической степени заполнения ее ковшей, при которой начинается процесс завала, априори неизвестны, т.к. они зависят от большого количества факторов: механических характеристик зерна, частоты, амплитуды и пространственных характеристик колебаний ленты;
- при регулировании подачи материала на норию изменением степени открытия подсилосной задвижки, время запаздывания в канале регулирования будет во много раз превосходить инерционность объекта управления;
- свойства нории как объекта управления по каналу «расход зерна на входе в норию  $Q_{\text{ââ}}$  – расход зерна на выходе из нории  $Q_{\text{âââ}}$ » изменяются от статических, когда коэффициент заполнения ковшей ниже критического, до

<sup>1</sup> Инжиниринговая компания «С-инжиниринг», ул. Н. Боровского, 28, Одесса, 65031, УКРАИНА, E-mail: ivan.kiryazov@se.ua

<sup>2</sup> Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, Одесса, 65039, УКРАИНА, E-mail: khobin@onaft.edu.ua

астатических, когда коэффициент заполнения ковшей становится критическим, и начинает развиваться процесс завала башмака и восходящей трубы норрии зерном.

При разработке САУ, перечисленные особенности проявляются в форме проблем, что делает задачу эффективного достижения сформулированных выше целей управления нетривиальной. Для использования при разработке САУ такого эффективного инструмента как целенаправленные компьютерные эксперименты математическая модель норрии была реализована в форме имитационной модели. Ее наиболее общая структурная схема приведена на рис. 2.

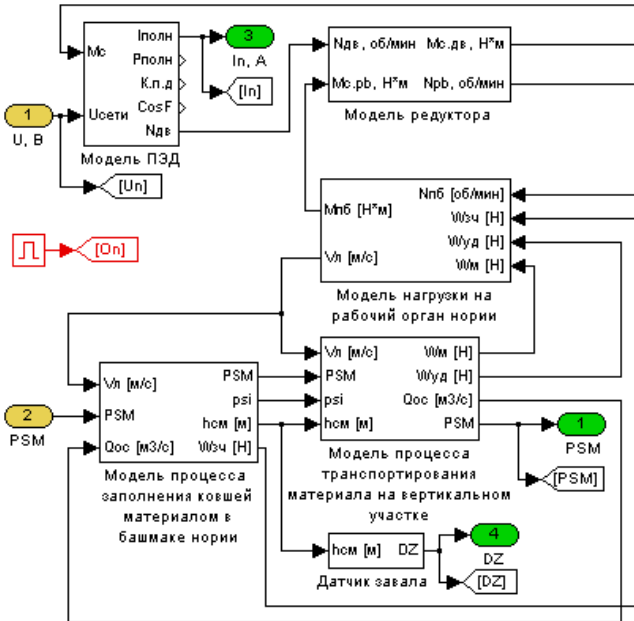


Рис.2. Структурная схема имитационной модели норрии

Ниже, на рис. 3 – 7 приведены некоторые результаты исследования свойств одной из типов норрии по ее имитационной модели. Ее номинальная производительность 100 т/ч, но потенциальные возможности существенно больше, но изменяются в широких диапазонах и априори неизвестны. Выход за пределы означает возникновение ситуаций S1 или S2.

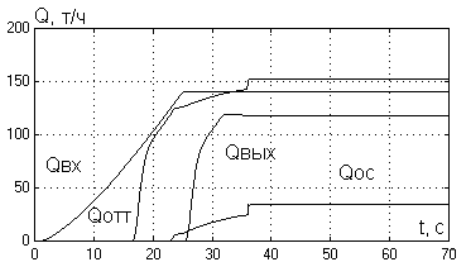


Рис.3. Изменения производительностей оттока из башмака  $Q_{отт}$ , осыпания  $Q_{ос}$  и на выходе норрии при изменении производительности на ее входе от 0 до 140 т/ч

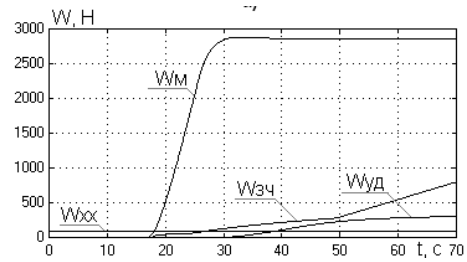


Рис.4. Изменения мощностей составляющих затрат энергии

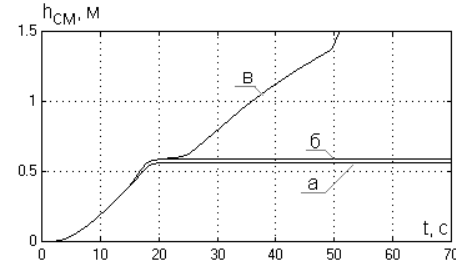


Рис.5. Изменения уровня материала в башмаке норрии для различных значений входной производительности: а) 60т/ч; б) 100 т/ч; в) 140 т/ч

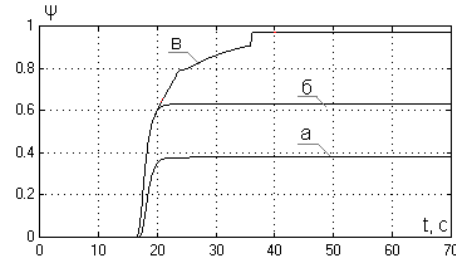


Рис.6. Изменения коэффициентов заполнения ковшей для различных значений входной производительности, см. рис.4

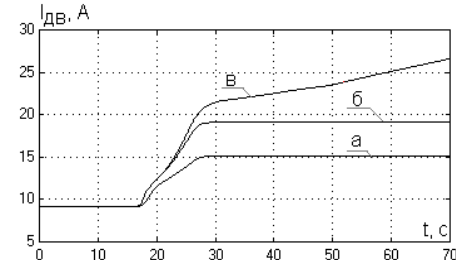


Рис.6. Изменения тока нагрузки ПЭД для различных значений входной производительности, см. рис. 4

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная математическая модель процесса транспортирования зерна норрией, которая реализована в форме имитационной модели, не самоцель. Она войдет как составная часть в комплекс моделей, который позволит достаточно легко получать имитационные модели ПТЛ любых конфигураций. Подчеркнем, что рассмотренная здесь модель является наиболее сложной из указанного комплекса. В рамках имитационных моделей САУ ПТЛ машинного времени планируется решать задачи разработки алгоритмов управления. В рамках имитационных моделей ПТЛ реального времени, взаимодействующих через карты ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов с контроллером и компьютером АРМ технолога, планируется вести отладку прикладного ПО.