

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НЕФТЕПРОВОДАМИ

**А.О. Есаулов**  
**И.В. Текшева**

**В ОАО «ГИПРОТРУБОПРОВОД» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗРАБОТАНА УНИКАЛЬНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ – ТИХИЙ ОКЕАН.**

**Б**езопасная и устойчивая эксплуатация магистральных нефтепроводов и трубопроводных систем невозможна сегодня без математического моделирования процесса перекачки нефти. С его помощью определяются оптимальные режимы эксплуатации МН и технологического оборудования, параметры оборудования, разрабатываются системы защиты, формулируются принципы технологического управления.

Математические методы дают возможность провести анализ ситуаций, в которых полномасштабный эксперимент на работающем нефтепроводе невозможен (из-за трудоемкости и потенциальной опасности). Например, моделирование нестационарного процесса, вызванного аварийным закрытием задвижки на линейной части МН, помогает определить давление на всех участках нефтепровода (в том числе – на оборудованных средствами инструментального контроля).

Одна из главных задач автоматизированных систем управления технологическим процессом перекачки нефти (АСУ ТП) – предотвращение аварий. Поэтому для проверки эффективности АСУ ТП в максимально возможном количестве технологических ситуаций их разработка должна осуществляться на математических моделях МН.

В ОАО «Гипротрубопровод» с использованием средств математического моделирования созданы алгоритмы для Единой системы управления трубопроводной системы Восточная Сибирь – Тихий океан (ЕСУ ТС ВСТО), вошедшие в ОР-35.240.50-КТН-105-09 «Автоматизация технологического процесса перекачки нефти для магистрального нефтепровода с рабочим давлением 10 МПа».

ЕСУ ТС ВСТО не имеет аналогов в России и за рубежом. Управляя всем основным технологическим оборудова-

нием ТС ВСТО, она по команде с территориального диспетчерского пункта выполняет алгоритмы пуска и штатной остановки МН, перехода между технологическими режимами. В системе предусмотрены также алгоритмы защит, автоматически, без участия диспетчера, переводящие МН в безопасное состояние в нештатных ситуациях. Комплекс технологических алгоритмов управления, принципов построения и функционирования технологических готовностей и защит составляет систему, решающую задачу безопасной и устойчивой эксплуатации ТС ВСТО.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

При создании ЕСУ ТС ВСТО была разработана комплексная математическая модель нефтепровода, состоящая из гидродинамической модели на базе ПК «Cassandra» (аттестованного на соответствие РД-75.180.00-КТН-238-08 «Методика расчета нестационарных технологических режимов работы МН»), программного модуля, реализующего модель систем управления и защит нефтепровода, а также системы визуализации (см. рисунок).

Процесс создания комплексной математической модели нефтепровода можно разделить на семь основных этапов:

- 1 – построение гидродинамической модели;
- 2 – организация взаимодействия с гидродинамической моделью;
- 3 – построение системы визуализации;
- 4 – верификация гидродинамической модели;
- 5 – построение математической модели систем управления МН;
- 6 – формулирование основных принципов управления МН;
- 7 – разработка технологических алгоритмов ЕСУ, предусматривающих

управление МН в штатных и аварийных ситуациях.

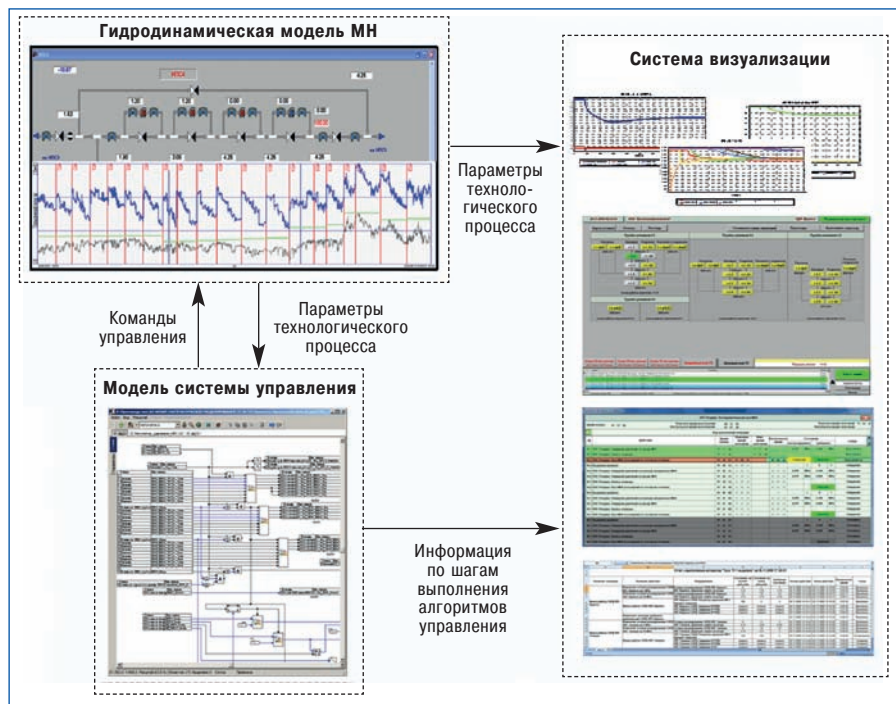
## ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

На первом этапе в модель закладываются технологические схемы нефтеперекачивающих станций (НПС) и линейной части нефтепровода, определяется высотный профиль и раскладка труб, физико-химические свойства перекачиваемой нефти, вносятся характеристики и параметры работы оборудования.

Затем в гидродинамической модели настраиваются внешние подключения, выполняющие роль интерфейсов, которые позволяют получать расчетные значения технологических параметров (расход и давление в трубопроводах, частоты работающих насосных агрегатов, положение задвижек и заслонок, статусные состояния оборудования и пр.). Внешние подключения дают возможность управлять технологическим оборудованием, то есть осуществлять его запуск и остановку, регулировать частоту вращения насосных агрегатов, изменять положение заслонок и т. п.

Таким образом, процесс взаимодействия с гидродинамической моделью имитирует работу системы телемеханики по передаче сигналов телеизмерения и телесигнализации, телеуправления и телерегулирования.

Взаимодействие с гидродинамической моделью осуществляется по стандартизированной в области АСУ ТП спецификации OPC (OLE for Process Control), что позволяет подключать широкий спектр специализированных программных продуктов: SCADA-системы, программы просмотра трендов и сообщений, средства сохранения и обработки исторических данных.



Структура комплексной математической модели нефтепровода

### СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ВЕРИФИКАЦИЯ

Совокупность специализированных средств отображения информации, получаемой от гидродинамической модели (зависимости технологических параметров во времени, их распределение по трассе нефтепровода, последовательность сообщений о состоянии оборудования, сводные таблицы значений и т. п.) образует систему визуализации. Несмотря на то, что в ходе проведения расчетов визуализация процесса моделирования является второстепенной задачей, система визуализации позволяет легко ориентироваться в процессах, протекающих в модели, быстро и структурировано определять важные зависимости, принимать обоснованные решения.

После построения гидродинамической модели верифицируется на соответствие стационарным технологическим режимам, разработанным для МН. При необходимости уточняются параметры и местоположение технологического оборудования НПС, характеристики линейной части МН.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Этап построения математической модели систем управления МН включает в себя разработку модели локальных систем автоматики и автоматизированной системы управления МН в целом (ЕСУ ТС ВСТО).

Модели работы локальных систем автоматики и отдельных узлов оборудования включают:

- алгоритмы запуска, штатной и аварийной остановки, автоматический ввод резерва подпорных и магистральных насосных агрегатов;
- алгоритмы частотного регулирования магистральных насосных агрегатов (ПИД-регуляторы);
- алгоритмы регулирования положения заслонок узлов регулирования давления (ПИД-регуляторы);
- алгоритмы безаварийного управления регуляторами давления при приближении их характеристик к ненормальным (по максимальному перепаду давления, минимальному допустимому положению открытия, максимальной скорости потока);
- алгоритмы изменения схем при работе узлов регуляторов давления;
- алгоритмы управления регуляторами расхода путевых подкачек и отборов нефти, системой измерения количества и показателей качества нефти;
- алгоритмы, реализующие защиту НПС по максимальному и минимальному давлению, по минимальной частоте вращения роторов магистральных насосных агрегатов;
- алгоритмы, имитирующие неисправность оборудования.

При построении моделей локальных систем автоматики и отдельных узлов оборудования учитываются скоростные и точностные характеристики, возможные схемы и состояния работы оборудования, условия перехода с одной схемы работы на другую.

ПИД-регуляторы в математических моделях проходят настройку для опре-

деленных условий. На этом этапе определяются также основные временные параметры локальных алгоритмов, установки срабатывания защит.

### ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ

Следующий этап – определение принципов управления МН в штатных и аварийных ситуациях. Они являются основой для разработки технологических алгоритмов управления ЕСУ, описания условий для формирования защит МН, формулирования готовностей отдельных узлов оборудования и МН в целом к выполнению автоматизированных и автоматических операций управления.

В основу разработки технологических алгоритмов ЕСУ заложен параметрический принцип (формирование сигналов управления оборудованием происходит по достижении заданного уровня параметров технологического процесса – значений давления, частоты вращения магистральных насосных агрегатов, положения заслонок регуляторов давления и т. д.).

Параметрический принцип определяет универсальность технологических алгоритмов ЕСУ в различных условиях (например, при пуске нефтепровода после остановки). При этом корректировка алгоритмов управления ЕСУ (при изменении свойств перекачиваемой нефти или внесении изменений в карту технологических режимов) заключается лишь в перенастройке параметров алгоритмов.

### РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ

Можно выделить основные критерии, которые используются при разработке технологических алгоритмов управления ЕСУ:

- не превышение несущей способности секций труб и разрешенного рабочего давления при нестационарных процессах;
- отсутствие работы насосных агрегатов в ненормальной зоне их характеристик (нахождение рабочей точки насосного агрегата внутри рабочего поля Q-H характеристик);
- отсутствие работы регуляторов давления в ненормальной зоне их характеристик (нахождение заслонки в зоне пропорциональности Kv-характеристики,

контроль максимального перепада на заслонках регуляторов, контроль максимального давления на регуляторе, максимальной скорости потока через заслонки);

- отсутствие образования самотечных участков в переходных и стационарных состояниях МН;
- отсутствие или минимизация приема нефти в специальные резервуары в аварийных ситуациях;
- отсутствие срабатывания защит насосных агрегатов, общестанционных защит НПС и защит МН (ЕСУ) при выполнении штатных алгоритмов управления;
- отсутствие срабатывания агрегатных защит насосных агрегатов, общестанционных защит НПС при выполнении аварийных алгоритмов управления (при срабатывании защит МН).

Основной этап разработки математической модели систем управления – создание технологических алгоритмов управления ЕСУ, предусматривающих работу в штатных и аварийных ситуациях. Такими алгоритмами являются:

- пуск участка МН в выбранном технологическом режиме;
- переходы между технологическими режимами с изменением производительности перекачки нефти без изменения количества работающих насосных агрегатов;
- переходы между технологическими режимами без изменения производительности перекачки нефти с изменением количества работающих насосных агрегатов;
- штатные остановки технологического участка в текущем технологическом режиме;
- переходы на режимы раскочки резервуаров аварийного сброса промежуточных НПС из технологических режимов перекачки;
- пуск в режимы раскочки резервуаров аварийного сброса промежуточных НПС из остановленного состояния технологического участка;
- переходы на технологические режимы с путевыми подкачками и отборами нефти;
- аварийные переходы на безопасные технологические режимы при неплановом отключении насосных агрегатов НПС;



- аварийные переходы на безопасные технологические режимы при отключении путевых подкачек и отборов нефти;
- аварийные остановки технологического участка НПС (с различной последовательностью отключения) при срабатывании защит ЕСУ.

Алгоритмы управления ЕСУ должны быть применимы в разных условиях работы МН. Например, алгоритм пуска технологического участка должен осуществлять запуск МН во всех штатных технологических режимах из различных остановленных состояний. В связи с этим особое внимание уделяется построению универсальных параметрических алгоритмов, а проверка их применимости должна выполняться для всех условий работы МН.

При моделировании работы штатных алгоритмов определяются предельные значения технологических параметров в стационарных и нестационарных процессах. Анализ их значений позволяет сформулировать требования к настройке шкал преобразователей давления в различных точках МН, произвести настройку защит ЕСУ (по предельному и аварийному уровню давления на линейной части), определить критерии стационарности и условия готовности к технологическим операциям.

После моделирования штатных алгоритмов разрабатываются технологиче-

ские алгоритмы аварийных переходов и остановок МН. Их главная задача – предотвратить развитие нештатной или аварийной ситуации путем остановки МН или перевода в безопасный режим. Работа таких алгоритмов в большинстве случаев должна предотвращать срабатывание агрегатных и общестанционных защит НПС. На основе перечня нештатных или аварийных ситуаций строится карта защит МН, для каждой из которых предусмотрено выполнение того или иного алгоритма.

После разработки штатных и аварийных технологических алгоритмов и определения необходимости управления конкретным оборудованием для каждой ситуации окончательно формируется иерархическая структура флагов готовности отдельных узлов оборудования и МН в целом к выполнению автоматизированных и автоматических операций управления. Это позволяет автоматически оценивать состояние МН и избегать подачи команд, заведомо приводящих к аварийной или предаварийной ситуации.

Методика разработки алгоритмов управления, принципов построения и функционирования технологических готовностей и защит может быть с успехом использована на всех стадиях разработки АСУ для трубопроводных систем любой сложности и протяженности. Математическое моделирование систем управления МН позволяет оптимизировать их работу в различных режимах, а также создать оптимальные алгоритмы управления и защит.