

АНАЛИЗ РАБОТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПУТЕВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ СОВМЕСТНО С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ МОДУЛЕМ КОНТРОЛЯ, ДИАГНОСТИКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Жернаков Сергей Владимирович

Профессор, доктор технических наук,

Уфимский государственный авиационный технический университет,

Уфа

Крючков Сергей Павлович

Магистрант,

Уфимский государственный авиационный технический университет,

Уфа

Для понимания работы системы рассмотрим сначала работу классической схемы управления путевого подогревателя ПП-4В и его модель, разработанная в среде моделирования Simulink.

Поскольку моделируются частные случаи, поэтому в пакете Matlab задаем начальные условия, чтобы задать типовой режим работы, когда подогреватель работает в штатном режиме.

Рассматриваемый путевого подогреватель ПП-4В, его полная мощность 4 МВт, в характеристиках учтена мощность с учетом КПД его работы. Допустим, что по технологии необходимо обеспечить температуру на выходе подогревателя 50 °С. Зону нечувствительности зададим 0,5 °С. На вход подогревателя поступает нефть, с обводненностью 15% и температурой 30 °С. Расход нагреваемого продукта 200 т/ч[3,6]. На входном языке среды Matlab эти условия могут быть заданы [2]:

```
setpointT = double(50); % °C
deadbandT = double(0.5); % °C
fullpower = double(4.0); % MW
Tin = double(30.0); % °C
H2Ofactor = double(15); % percent %
consumption = 200; % t/h
dT = setpointT - Tin;
tepl_cap = 4200 * H2Ofactor/100 + 2000*(100 - H2Ofactor)/100;
consumption_s = consumption * 1000 / 3600;
power_req = tepl_cap * dT * consumption_s / 1e6; % MW
sum_power = 1;
max_T = (fullpower*1e6/(tepl_cap*consumption_s))+Tin;
out_T = Tin;
sim('pp4v.slx')
```

Кроме заданных начальных условий, рассчитываются такие параметры процесса, как: теплоемкость нефти с учетом обводненности, пересчитывается расход т/ч в кг/с, необходимая мощность для требуемого режима, максимальная температура в режиме работы на полной мощности.

Для моделирования данного процесса в среде Simulink была построена модель, показанная на рисунке 1[4,5].

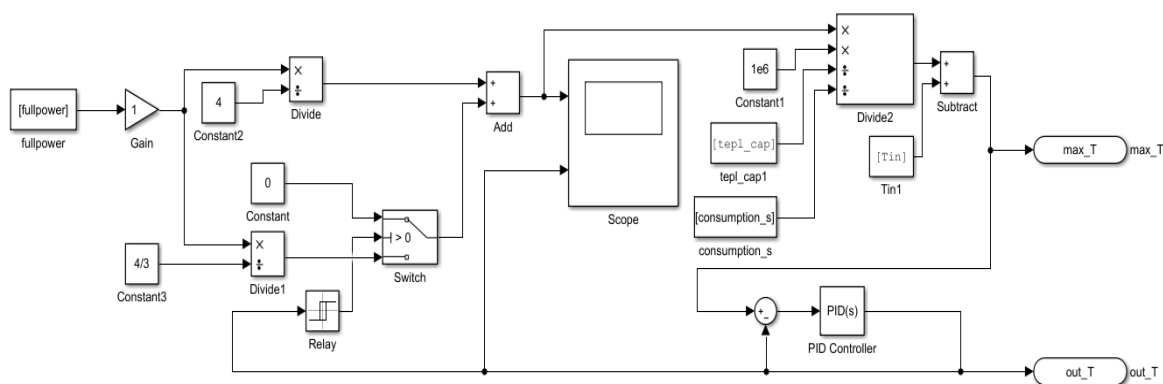


Рисунок 1. Модель ПП-4В с двухступенчатым регулированием

На рисунке 2 построена зависимость одного из режимов работы подогревателя в течение времени его эксплуатации.

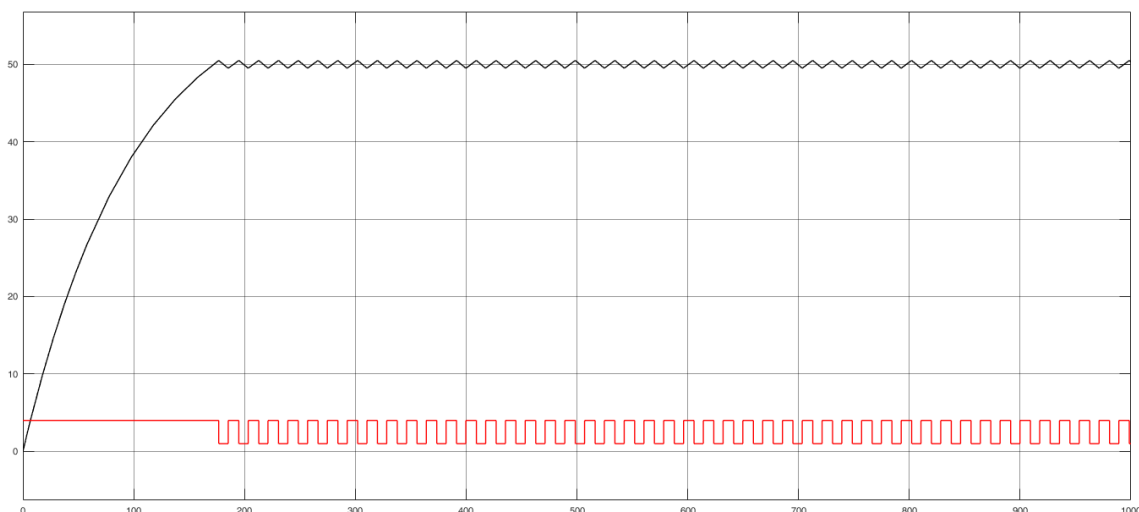


Рисунок 2. Зависимость температуры от режима работы подогревателя в штатном режиме

Анализ данной зависимости показывает, что в самом начале наблюдается плавный нагрев теплоносителя и соответственно продукта. Поскольку, теплоноситель, как правило вода, и чаще всего из местных водоемов, а большинство запусков происходит в зимнее время, или поздней осенью, то температура теплоносителя весьма низкая. Поэтому для моделирования была задана начальная точка 0 °С.

Как показывает анализ зависимости, на выходе подогревателя, в установившемся режиме наблюдаются колебания в районе $\pm 0,5$ °С от требуемой температуры.

Поскольку объекты не являются статическими системами, и со временем меняются различные параметры, рассмотрим ниже условия, в которых покажем изменения в нагреваемом продукте. Учтем тот фактор, что со временем дебет скважины увеличивают, и часто бывает, что обводненность нефти начинает увеличиваться:

```
H2Ofactor = double (25); % percent%
consumption = 300; % t/h
```

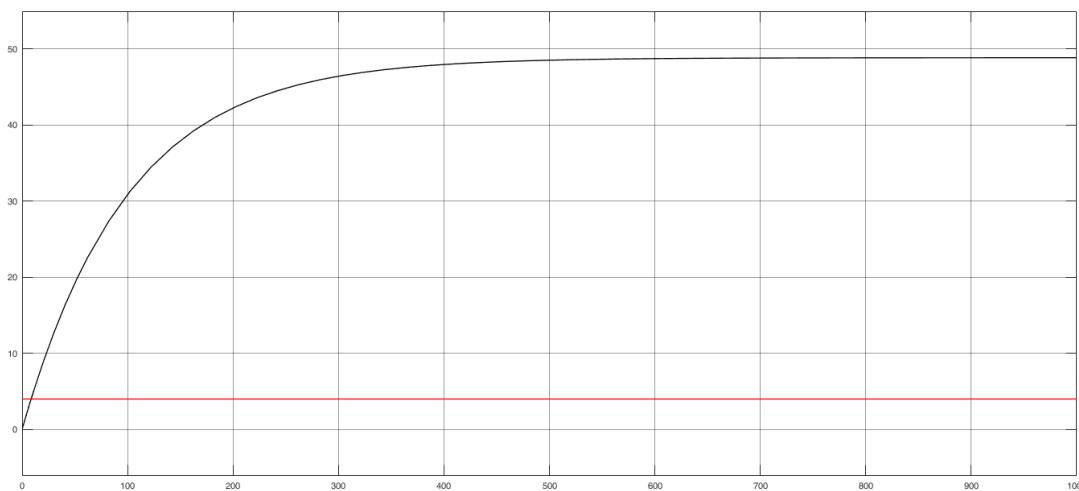


Рисунок 3. Зависимость температуры от режима работы подогревателя, при увеличении расхода и обводненности

Как показано на рисунке 3, на данном режиме подогреватель уже не может выйти на заданную уставку, так как требуется больше мощности для подогревателя, чем ее может быть реально обеспечено (в этих условиях 4,25 МВт). В данном случае система «слабо» реагирует на данную ситуацию и продолжает постоянно работать в режиме полной мощности. В итоге на объекте может нарушиться технология подготовки нефти, что ведет к экономическим потерям и, как правило, на завод-изготовитель приходят рекламационные письма, с требованием обеспечения дополнительных режимов работы подогревателя с выходом последнего на заданный режим работы.

Рассмотрим ситуацию, в холодное время года, температура продукта на входе в подогреватель соответственно ниже, может доходить до $+5^{\circ}\text{C}$ и ниже, что соответственно ведет к еще большему недостаточному прогреву нефтепродукта.

```
Tin = double(5.0); % °C
H2Ofactor = double (25); % percent%
consumption = 300; % t/h
```

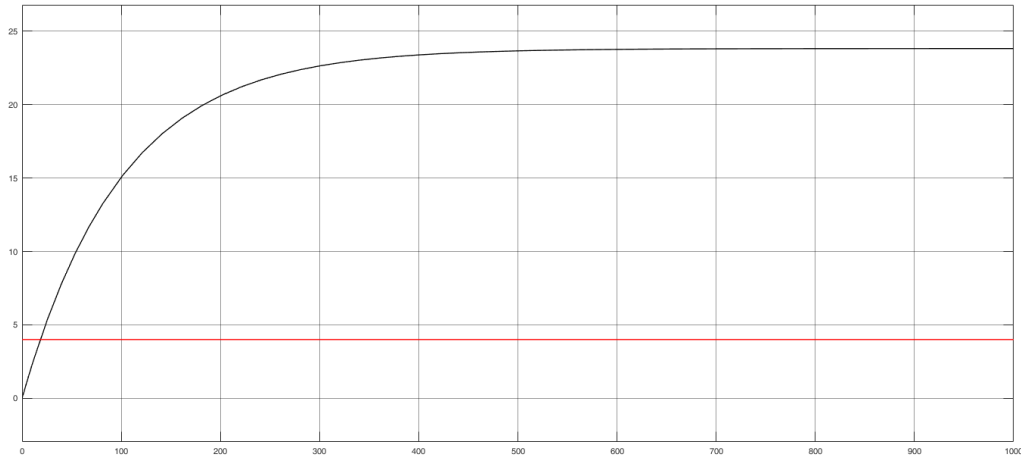


Рисунок 4. График зависимости температуры от режима работы подогревателя, при увеличении расхода, обводненности и снижении температуры нефти на входе.

В данном случае, система управления также не выдает никаких уведомлений и продолжает работать на полной мощности. И, если, оператор вовремя не заметит снижения температуры, то технология подготовки нефти будет сорвана. Важным моментом для своевременного выявления данной ситуации является правильное задание предупредительных уставок на путевом подогревателе, чтобы сработали своевременные предупреждения.

Выходом из данной ситуации является либо запуск резервных подогревателей, если такие есть, либо зацикливание нефти на подогревателе, чтобы она нагревалась за несколько проходов.

Рассмотрим обратную ситуацию, когда дебет скважины падает и расход уменьшается.

```
Tin = double(30.0); % °C
H2Ofactor = double (15); % percent%
consumption = 100; % t/h
```

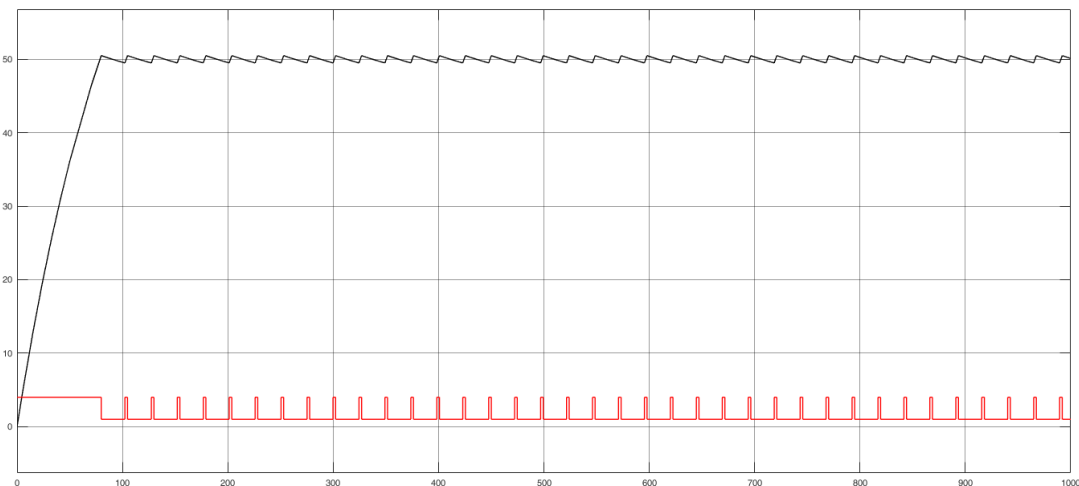


Рисунок 5. Зависимость температуры от режима работы подогревателя, при уменьшении расхода нефти

Анализ зависимости, представленной на рисунке 5, показывает, что подогреватель находится еще в штатном режиме, однако режим большого горения включается на незначительный период времени. Что ведет к сокращению срока службы данного клапана, если ПВ превысит номинальные значения.

Рассмотрим еще один вариант, когда расход уменьшается еще больше:

```
consumption = 50; % t/h
```

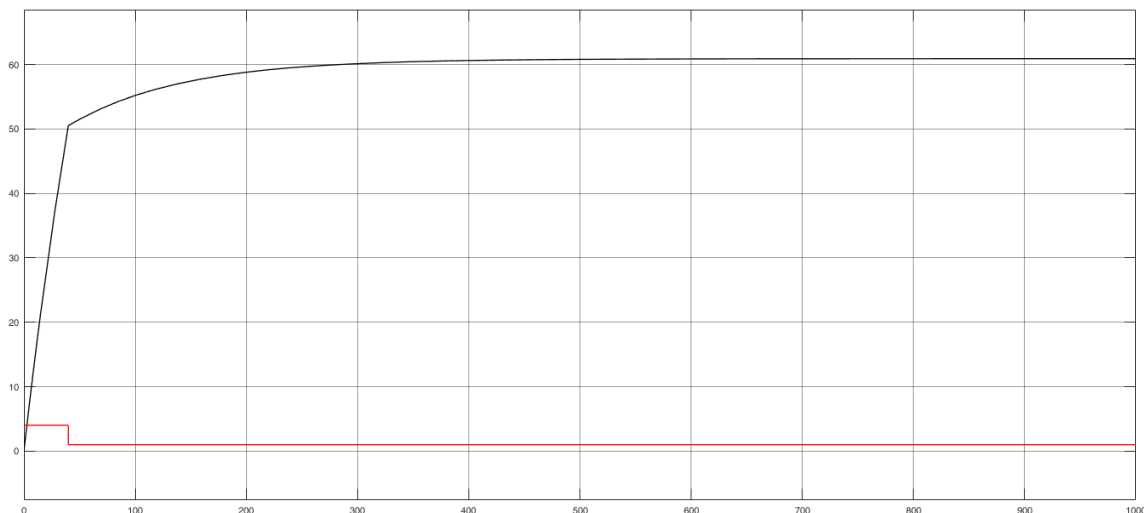


Рисунок 6. Зависимость температуры от режима работы подогревателя, при уменьшении расхода нефти

На рисунке 6 рассмотрен случай, когда подогреватель продолжает работать, без каких-либо предупреждений обслуживающему персоналу, если не выставлены технологом правильные предупредительные и аварийные уставки.

Есть еще множество других факторов, определяющих выйдет на режим работы подогреватель или нет. Как говорилось в предыдущих главах, подогреватель настраивается как правило во время ПНР на текущее состояние на объекте и нет автоматической подстройки и оповещений о режиме работы. К тому же, ПИД регулятор применить довольно сложно, поскольку множество факторов влияет на систему. Поэтому был разработан модуль, анализирующий текущую ситуацию и принимающий решения в области управления ПП и оповещения персонала.

Система диагностирования была построена на базе нейронной сети тип линейного слоя, поскольку данный вид сети показал адекватную реакцию на изменения входных данных, имитирующих одну из ситуаций [1].

Для демонстрации работы была взята небольшая выборка данных, и на ее основе обучена нейронная сеть.

Имитировалась одна ситуация, падение температуры на выходе подогревателя, причины при этом создавались следующие:

- падение давления перед горелочным устройством;
- падение расхода газа путевым подогревателем;
- повышение расхода нагреваемого продукта;
- снижение температуры на выходе без какой-либо видимой причины.

Результатом моделирования стала нейронная сеть, следующей структуры (рисунок 7).

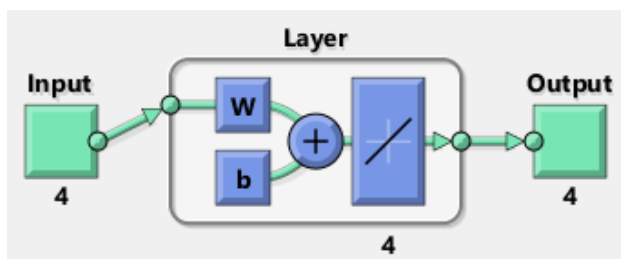


Рисунок 7. Нейронная сеть линейный слой.

Для имитации падения давления газа перед горелочным устройством остальные параметры задали константами. В результате анализа тестовых данных получили следующий результат (рисунок 8).

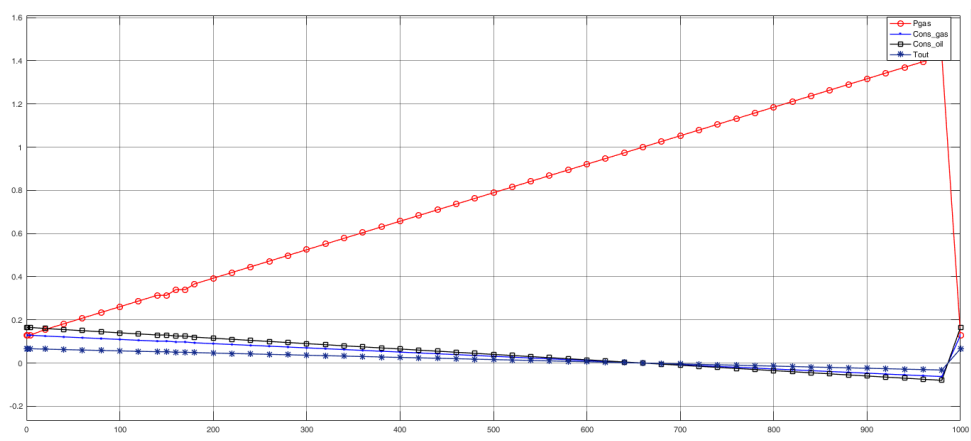


Рисунок 8. Результат работы нейронной сети при падении давления газа перед горелочным устройством

По графику видно, что нейронная сеть правильно идентифицировала причину падения температуры продукта на выходе.

Аналогичным образом были симитированы оставшиеся ситуации, результаты представлены на рисунках 9-11.

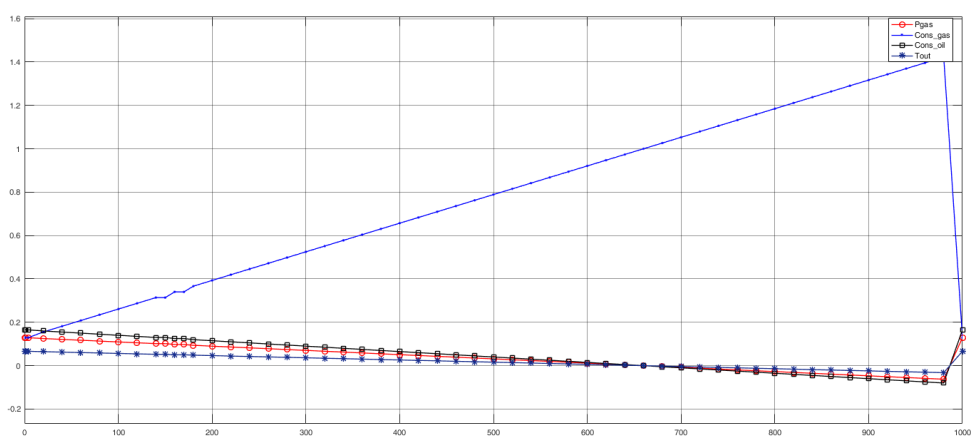


Рисунок 9. Результат работы нейронной сети при снижении расхода газа путевым подогревателем.

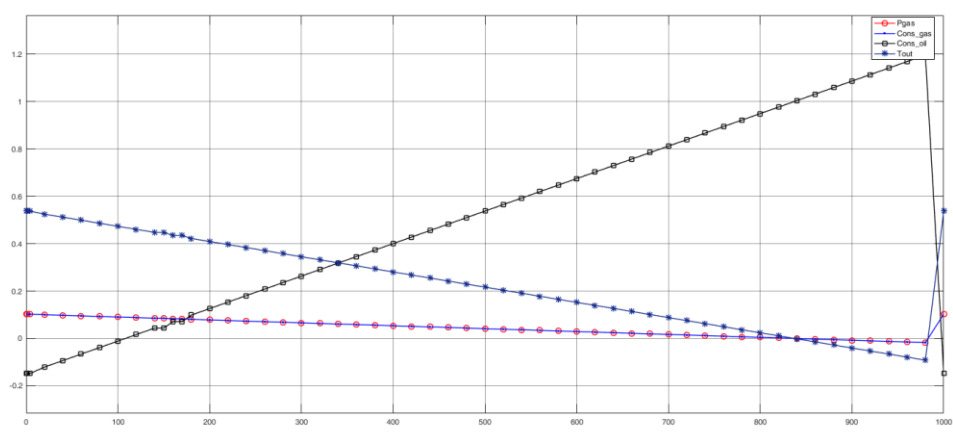


Рисунок 10. Результат работы нейронной сети при повышении расхода нагреваемого продукта

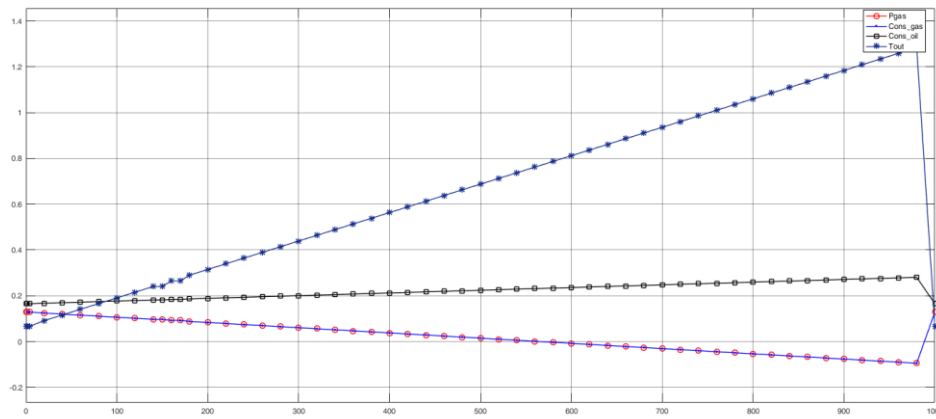


Рисунок 11. Результат работы нейронной сети при снижении температуры продукта на выходе

Также была симулирована работа подогревателя с ПИД регулированием, в которой также учитывалось снижение мощности, вплоть до влияния на температуру продукта на выходе (рисунок 12).

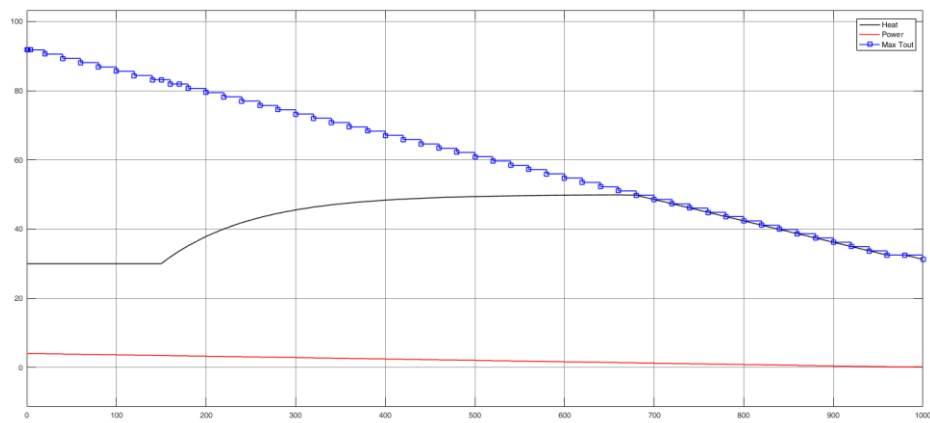


Рисунок 12. Работа ПП с ПИД регулятором при постоянной потере мощности

Результаты работы нейронной сети представлены на рисунке 13.

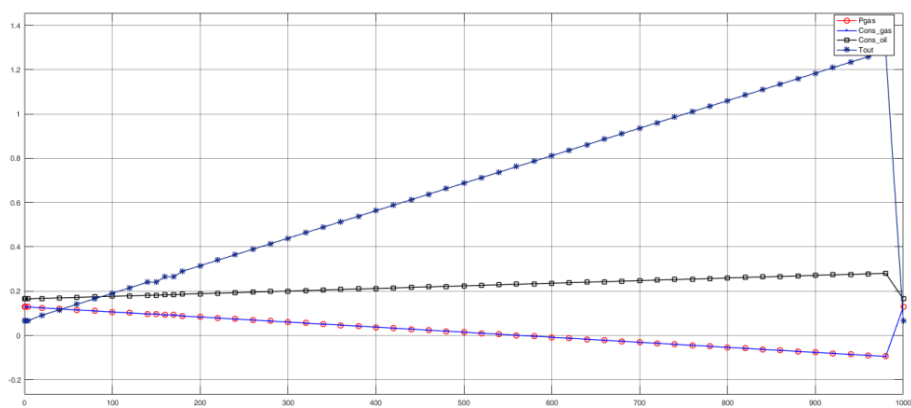


Рисунок 13. Результат работы нейронной сети при имитации потери мощности

Данные, полученные на выходе с нейронной сети, обрабатываются, анализируется угол наклона каждого вектора, и на основе обработки полученных данных выдается заключение, которое отправляется в контроллер.

При установлении причины падения температуры можно делать следующие выводы:

Если падает давление газа перед горелочным устройством, это может быть связано с падением входного давления до регулятора давления, также могут забиться фильтры, или может быть неисправность регулятора. Соответствующие инструкции оператор получит на панели визуализации.

Если падает расход газа, это может быть связано с забиванием отверстий горелочного устройства или отсечной арматуры, находящейся непосредственно перед горелкой.

Если растет расход продукта, тут уже со стороны подогревателя ничего не сделать, если технология не позволяет прикрывать поток на подогреватель. Оператор информируется о том, что максимально возможная температура, при таком расходе около какого-либо значения.

Если температура продукта на выходе падает, при этом перечисленные выше параметры остаются неизменными. Система выдает сообщение, о необходимости выяснения причины падения мощности подогревателя, и выводит следующие подсказки:

- проверить компонентный состав газа;
- проверить обводненность нефти;
- проверить топочное пространство и при необходимости его очистить.

В имитации работы ПП с ПИД регулятором, как раз диагностируется последний рассмотренный случай, и оператор своевременно сможет выяснить причину и внести корректировки в работу путевого подогревателя.

Разработан модуль, выполняющий следующие функции:

- диагностирование путевого подогревателя;
- контроль текущего состояния и режима работы;
- добавлено прогнозирование ресурса работы подогревателя.

Продемонстрирована работа модуля, в режиме диагностирования, при имитации различных ситуаций.

Нейронная сеть показала высокую скорость работы в анализе трендов и выдаче решения в сложившейся ситуации. При реализации ПИД регулирования, необходимо применять в системе автоматизации путевых подогревателей задвижек с электроприводом. В дальнейшем будет реализована система автоподстройки коэффициентов ПИД регулятора, что позволит упростить ввод в эксплуатацию путевых подогревателей.

В рассмотренном примере нейронная сеть выполняла роль экспертной системы, позволяющей оказывать техническую поддержку обслуживающему персоналу.

Список литературы

e

2. [Brian D.Hahn. Essential MATLAB® for Engineers and Scientists / Brian D. Hahn, Daniel T. Valentine. – Burlington: Elsevier Linacre House, 2007/ - P.428.](#)

e 3. АО «Нефтемаш», информация о компании [Электронный ресурс] URL: <http://dznm.ru/about/> (дата обращения 06.06.2019);

[емидова Л.А. Алгоритмы и системы нечеткого вывода при решении задач диагностики городских инженерных коммуникаций в среде Matlab/ Демидова Л.А., Кираковский В.В., Пылькин А.Н. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005/ – с.365.](#)

[ерных И.В. "Simulink: Инструмент моделирования динамических систем" \[Электронный ресурс\] URL:](#)

l

a 6. Шаймарданов В.Х. Процессы и аппараты технологий сбора и подготовки нефти, и газа на промыслах. Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2013. – 508 с.

N

e

u

r

a

l

N

e

t

w

o

r

k

T

o

o

I

b

o

x

U

s

e

r

s

G