

MODERN INTELLIGENT INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE OIL INDUSTRY

K. F. Tagirova ^a, I. S. Shalupov ^b, A. M. Vulfin ^c

Ufa State Aviation Technical University (UGATU)

^a tagirovakf@yandex.ru, ^b shalupov.ivan@yandex.ru, ^c vulfin.alexey@gmail.com

Submitted 2022, August 8

Abstract. An approach to improving the efficiency of oil production process control using intelligent technologies is described. A method is proposed for optimizing the structure, information and mathematical support of intelligent control systems for oil production facilities through the modular construction of hardware and software to achieve maximum efficiency based on complex private and global criteria. A block diagram of a three-level intelligent control system for downhole equipment, a control algorithm based on fuzzy logic with software implementation has been developed. On the basis of experimental modeling, the possibility of maintaining a given level of profitability in the operation of downhole oil production equipment is shown.

Keywords: intelligent control system; efficiency criterion; fuzzy logic; profitability.

СОВРЕМЕННЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

К. Ф. Тагирова ^a, И. С. Шалупов ^b, А. М. Вульфин ^b

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

^a tagirovakf@yandex.ru, ^b shalupov.ivan@yandex.ru, ^c vulfin.alexey@gmail.com

Поступила в редакцию 8.08.2022

Аннотация. Описан подход к повышению эффективности управления технологическим процессом добычи нефти с использованием интеллектуальных технологий. Предложен метод оптимизации структуры, информационного и математического обеспечения интеллектуальных систем управления объектами нефтедобычи за счет модульного построения аппаратной и программной частей для достижения максимальной эффективности на основе комплексных частных и глобальных критериев. Разработана структурная схема трехуровневой интеллектуальной системы управления скважинным оборудованием, алгоритм управления на основе нечеткой логики с программной реализацией. На основе экспериментального моделирования показана возможность поддержания заданного уровня рентабельности эксплуатации скважинного оборудования нефтедобычи.

Ключевые слова: интеллектуальная система управления; критерий эффективности; нечеткая логика; скважинная штанговая насосная установка; групповое управление; модульная архитектура; алгоритмы интеллектуального управления; динамометрирование; ваттметрирование; рентабельность.

ВВЕДЕНИЕ

Отрасль нефтедобычи является потребителем самых современных средств автоматизации измерений, контроля, диагностики, управления. Указанные функции выполняются с высокими метрологическими характеристиками (показателями) и позволяют осуществлять регулирование параметров технических устройств, например, параметров режимов работы насосного оборудования, по техническим показателям.

По мере усложнения условий добычи возникает необходимость адаптации технологических режимов с учетом множества влияющих факторов, большинство из которых не могут быть получены путем прямых измерений. В системах управления технологическим процессом добычи нефти широко используется моделирование нефтепромысловой системы «пласт-скважина-скважинное оборудование» и отдельных элементов этой системы в зависимости от стадии разработки месторождения. Если раньше это были математические модели, требующие больших затрат не только на разработку и идентификацию, но и на расчет, то теперь, с появлением интеллектуальных технологий, появляется возможность прогнозного моделирования как режимов работы оборудования, так и комплексных технико-экономических показателей процесса добычи в реальном масштабе времени.

АРХИТЕКТУРА МОДУЛЬНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКВАЖИННОЙ ШТАНГОВОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКОЙ

Для эффективного управления технологическим процессом добычи нефти на уровне скважины необходимо учитывать множество динамических параметров, характеризующих условия добычи, и индивидуальные технические и конструктивные параметры каждой установки.

Декомпозиция станции управления на постоянную и переменную части позволяет решить проблемы ввода множества уставок, считывания истории работы установок, унифицировать интерфейс взаимодействия оператора и станции, объединить переменные части в промышленную сеть передачи данных, что существенно упрощает их промышленную эксплуатацию [1, 2]. Если добывающие скважины объединены в куст, экономически целесообразно устанавливать одну постоянную часть на несколько переменных частей.

Универсальность постоянной части заключается в том, что, во-первых, с ней могут работать любые устройства, поддерживающие единый протокол обмена, и, во-вторых, она является интегратором различных источников динамической и статической информации (рис. 1).

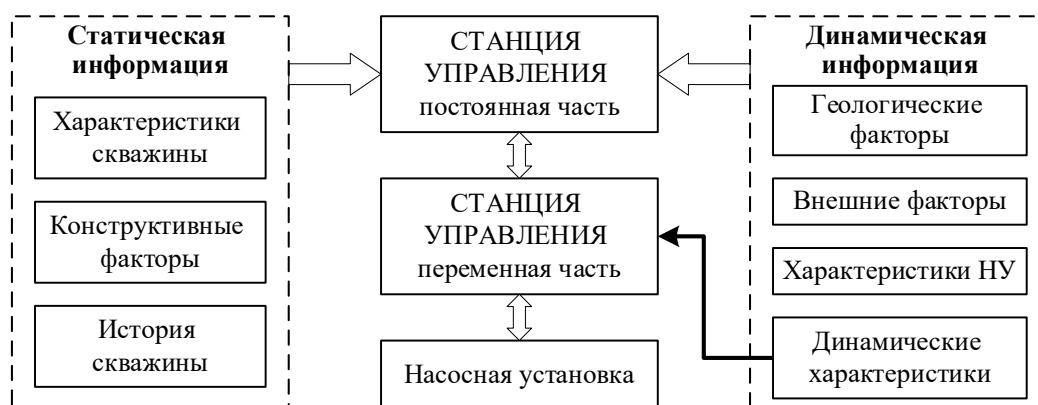


Рис. 1. Декомпозиция станции управления на постоянную и переменную части

Традиционно управление скважинной штанговой насосной установкой (СШНУ) производится с помощью контроллера скважины, выполняющего следующие функции:

- контроль энергетических параметров: токов и напряжений по каждой фазе, активной и реактивной мощности, коэффициента мощности;
- проведение технического учета электроэнергии и управление включением при пропадании напряжения в сети;
- автоматическое выключение при аварийных ситуациях.

По мере ухудшения условий добычи возникает потребность в расширении функциональных возможностей системы управления (СУ) СШНУ, которая удовлетворяется за счет внедрения новых алгоритмов управления, реализуемых на базе современных интеллектуальных технологий с использованием контроллеров с постоянно увеличивающимися вычислительными ресурсами.

Соответственно интеллектуальные СУ СШНУ [3–8] обеспечивают выполнение дополнительных функций:

- точная автоматизированная балансировка станка-качалки;
- построение ваттметрограмм и динамограмм расчетным и экспериментальным способом;
- определение производительности скважинной установки по динамограмме;
- оценка динамики изменения дебита и других параметров скважины (тренды);
- автоматическое управление откачкой в периодическом режиме;
- диагностика состояния подземной и надземной части установки;
- отчеты по текущему состоянию и аварийным отключениям, потреблению электроэнергии.

Для обеспечения возможности повышения эффективности управления режимами работы СШНУ без значительного вмешательства в структуру существующей системы управления предлагается модульная структура интеллектуального управления режимами работы СШНУ на автономном контроллере, встраиваемом в существующую станцию управления (рис. 2).

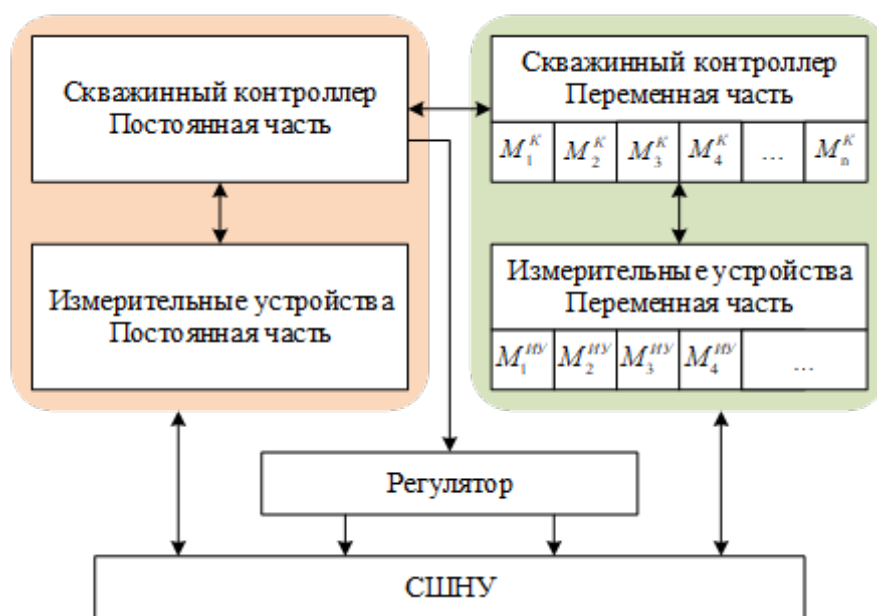


Рис. 2. Модульная архитектура интеллектуальной станции управления насосной установкой:

- M_1^K – модуль контроля и диагностики состояния наземного и подземного оборудования (динамограмма);
 M_2^K – модуль контроля и диагностики состояния наземного и подземного оборудования (ваттметрограмма);
 M_3^K – модуль определения дебита по данным ваттметрирования; M_4^K – модуль управления режимом работы СШНУ; M_5^K – модуль определения коэффициента уравновешенности надземной части; $M_1^{ИУ}$ – ваттметрирование; $M_2^{ИУ}$ – динамометрирование

Использование модульного принципа построения как аппаратной, так и программной реализации интеллектуальной станции (ИСтУ) позволяет расширять функциональные возможности каждой конкретной станции управления различных производителей за счет добавления модулей оперативной диагностики и анализа, модуля сопряжения с другими СУ в составе куста по единому интерфейсу и т.п.

Расширение функциональных возможностей ИСтУ СШНУ в текущих условиях удовлетворяется за счет внедрения новых алгоритмов управления, реализуемых на базе современных интеллектуальных технологий с использованием контроллеров с постоянно увеличивающимися вычислительными ресурсами.

ТРЕХУРОВНЕВАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СКВАЖИНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Контроль технического состояния СШНУ осуществляется по замерам производительности установки и результатам динамометрирования. В зависимости от состояния СШНУ принимается решение о дальнейшей эксплуатации установки при необходимом изменении конструктивных параметров установки либо о ее останове и ремонте. Изменять можно глубину спуска насоса, длину хода полированного штока либо частоту качаний балансира. При этом в автоматическом режиме можно изменять только частоту качаний балансира.

В основе работы станции лежит анализ работы насоса по критериям управления, соответствующим разным уровням, с целью принятия комплексного решения по требуемому управляющему воздействию и повышению рентабельности эксплуатации.

Автоматическое управление процессом нефтедобычи предполагает такую организацию процесса, которая обеспечивает достижение основной цели – повышение эффективности нефтедобычи (снижение себестоимости единицы продукции). Для решения проблемы предложен модуль расчета согласованного управляющего воздействия на основе рассчитанного дебита с трех каналов управления: локального, группового, по плановым экономическим показателям.

На каждом уровне управления вычисляется требуемый диапазон дебита нефти для каждой скважины и поступает на модуль расчета согласованного управляющего воздействия.

Задачу формирования координированного управляющего воздействия выполняет трехуровневая интеллектуальная система управления скважинным оборудованием для каждой скважины (рис. 3):

- первый (нижний) уровень управления режимами работы насосных установок скважин (локальная система управления);
- второй (средний) уровень управления группой (кустом) скважин;
- на третьем уровне с помощью модуля нечеткой логики осуществляется формирование согласованного управляющего воздействия с учетом плановых экономических показателей.

В этой структуре каждая скважинная штанговая насосная установка имеет свою собственную локальную станцию управления, которая отвечает только за свой собственный насос, она не может использовать другие скважины. Данные с локальной станции управления дальше передаются на групповую интеллектуальную станцию управления, которая контролирует работу всех скважин в группе.

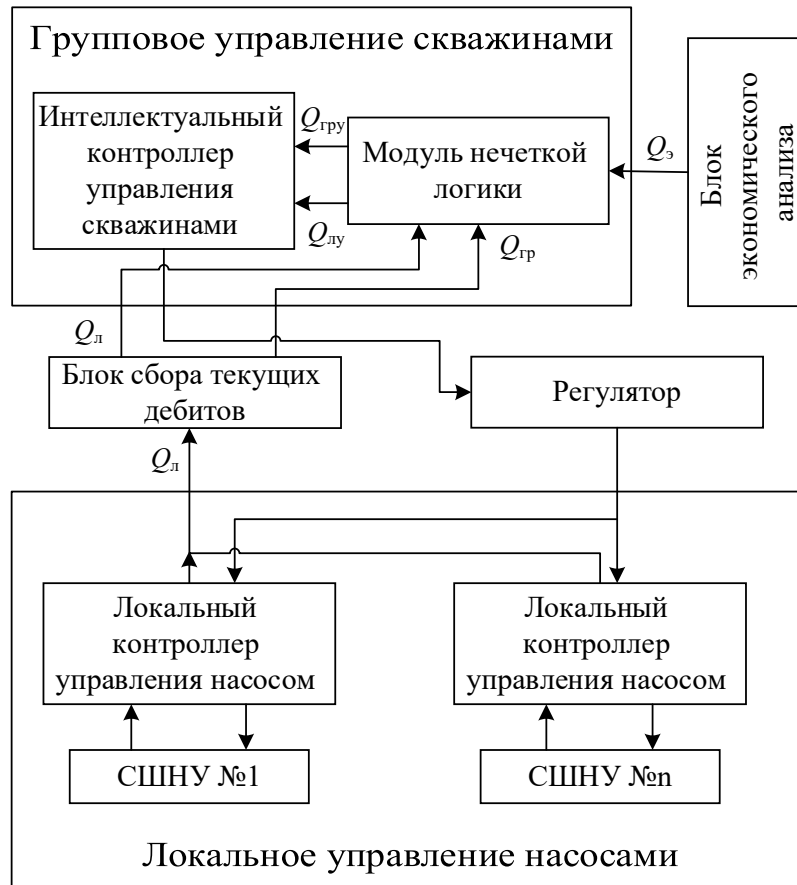


Рис. 3. Структура трехуровневой интеллектуальной системы расчета управляющего сигнала для штангового глубинного насоса:

$Q_э$ – данные по критерию экономического анализа; $Q_{гр}$ – данные о групповом дебите скважин;
 $Q_л$ – данные о локальном дебите скважин; $Q_{гру}$ – рассчитанный управляющий сигнал с группового интеллектуального контроллера; $Q_{лу}$ – рассчитанный управляющий сигнал с локального интеллектуального контроллера

АЛГОРИТМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Применение алгоритма интеллектуального управления позволит получить следующие составляющие технологического эффекта [9–13]:

- увеличение дебита скважин за счет оптимизации режима работы системы «насосная установка-скважина-пласт»;
- сокращение времени аварийных простоев вследствие повышения оперативности принятия организационно-технических мер;
- сокращение затрат на динамометрирование;
- предупреждение простоев вследствие аварийных ситуаций за счет своевременного отключения электродвигателя при незапланированном снижении динамического уровня.

Алгоритм интеллектуального управления представлен на рис. 4.

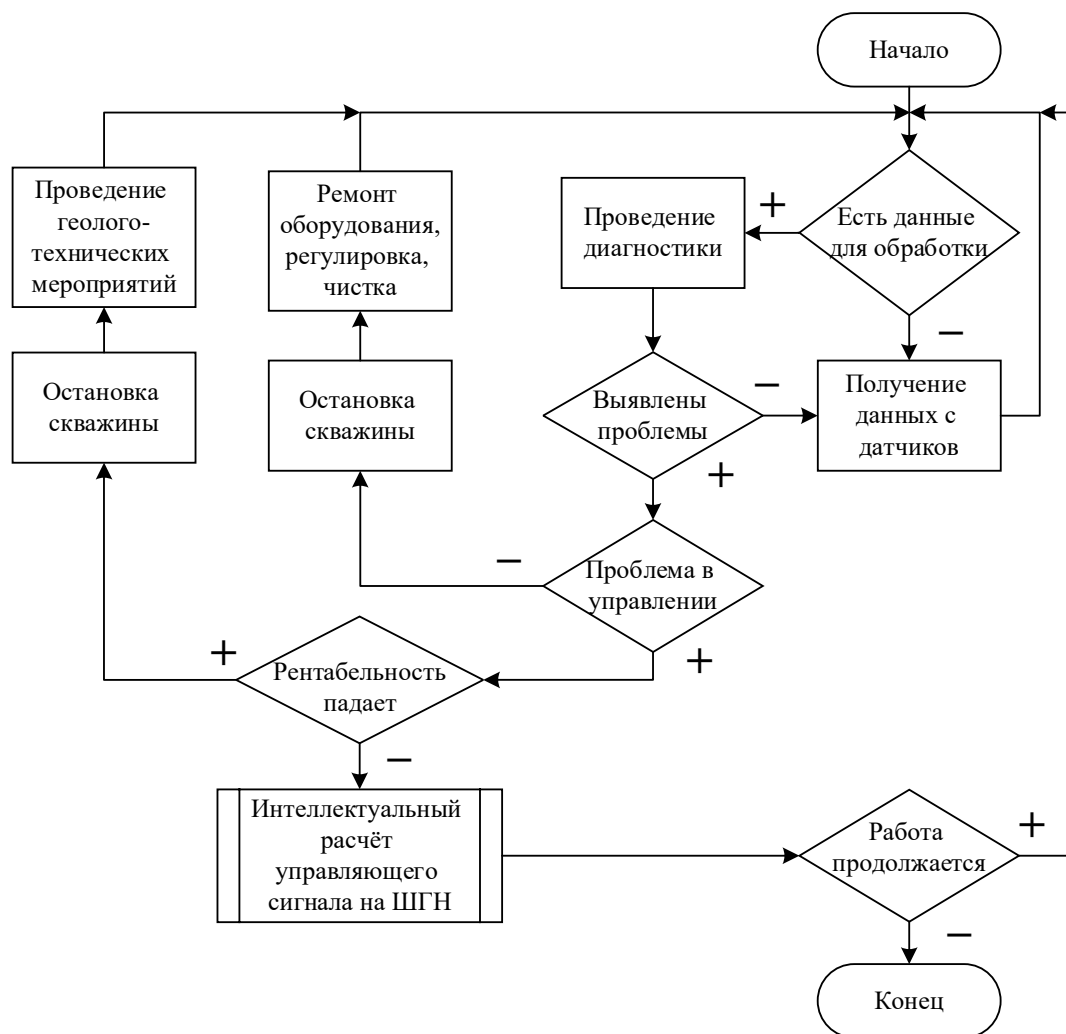


Рис. 4. Алгоритм интеллектуального управления

Описание блоков в алгоритме:

1. На уровне блока экономического анализа рассчитывается предельный дебит. Если он становится меньше заданной величины, то дальнейшая эксплуатация скважины станет нерентабельной. В трехуровневой системе управления экономический уровень дебита анализируется с двух точек зрения, т.е. с точки зрения экономической эффективности использования локальной скважины или экономической эффективности эксплуатации группы скважин.

В блоке экономического анализа определяется минимальный рентабельный дебит анализируемой скважины. Для экономического анализа требуется такая информация, как: текущее состояние насосного оборудования (аварийность, мощность и степень износа), текущее состояние рынка, налоги, стоимость эксплуатации нефтяной скважины, цена на нефть и т.д.

2. Подсистема, управляющая группой нефтяных скважин, позволяет настраивать и поддерживать производительность насосного технологического оборудования для каждой нефтяной скважины с учетом их взаимодействия при совместной работе.

3. Локальная система управления СШНУ регулирует производительность насосного оборудования в соответствии с расходом жидкости на забое скважины. Кроме того, основными управляющими параметрами в такой системе являются дебит скважины или скорость его изменения и динамический уровень в процессе добычи нефти.

Каждая из этих подсистем дает свои собственные параметры (номинальный дебит) для управления производительностью насосного оборудования. Для формирования итогового ло-

кального и группового управляющего воздействия предложено создать систему нечеткого логического вывода [14–16].

Определены лингвистические входные и выходные переменные, а также нечеткие множества, характеризующие их термы (табл. 1 и 2). Расшифровка значений таблицы: А (20 %), В (40 %), С (60 %), D (80 %).

Таблица 1. Описание входных лингвистических переменных

Название	Диапазон значений (сравнение со стандартными значениями)	Термы	Тип функции принадлежности
Экономический анализ ($Q_э$)	0–100 %	А (низкий) В (средний) С (выше среднего) D (высокий)	гауссова
Групповая система ($Q_{гр}$)	0–100 %	А (низкое) В (средний) С (высокий)	треугольная
Локальная система ($Q_л$)	0–100 %	А (низкий) В (средний) С (выше среднего) D (высокий)	треугольная

С помощью обратной связи вычисляются измененные значения группового управляющего сигнала и локального управляющего сигнала.

Таблица 2. Описание выходных лингвистических переменных

Название	Диапазон значений (подаваемой мощности на насос)	Термы	Тип функции принадлежности
Групповой управляющий сигнал ($Q_{гус}$)	0–100 %	А (низкое) В (средний) С (высокий)	треугольная
Локальный управляющий сигнал ($Q_{лус}$)	0–100 %	А (низкий) В (средний) С (выше среднего) D (высокий)	треугольная

Визуализация определения входных и выходных лингвистических переменных в пакете FuzzyLogic среды Matlab представлена на рис. 5.

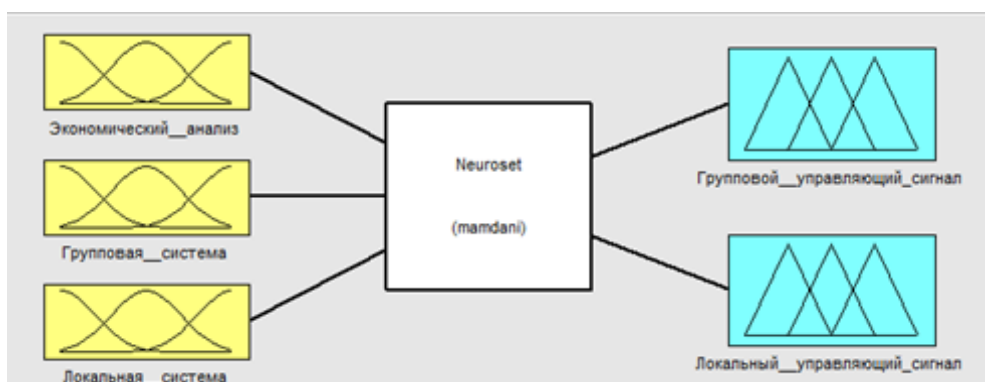


Рис. 5. Модель нечеткой логики на основе комплексных технико-экономических показателей

База правил, определяющая функциональное отображение входных лингвистических переменных в выходные, приведена в табл. 3.

Таблица 3. Правила модели нечеткой логики

Экономический анализ	A	A	A	B	B	B	C	C	C	D
Групповая система	A	A	B	B	C	C	A	B	C	C
Локальная система	A	D	B	B	A	D	D	C	D	D
Групповой управляющий сигнал	C	B	C	B	A	A	B	B	A	A
Локальный управляющий сигнал	D	B	C	C	C	A	A	B	A	A

Выполнен анализ построенной системы нечеткого логического вывода для рассматриваемой задачи выбора управляющего сигнала для групповой и локальной системы. Пример работы модели представлен на рис. 6.

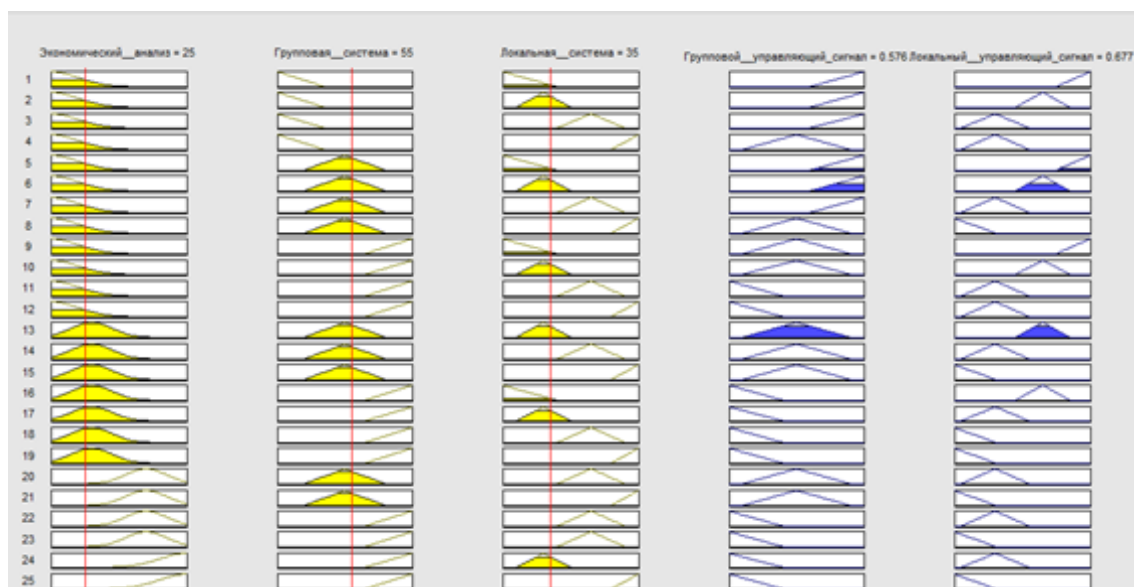


Рис. 6. Графический интерфейс программы просмотра правил после выполнения процедуры нечеткого вывода

При входных данных:

- экономический анализ = 25 %,
- групповая система = 55 %,
- локальная система = 35 %.

Получены следующие данные о необходимом управляющем сигнале:

- групповой УС = 57,6 %,
- локальный УС = 67,7 %.

Визуализация в виде трехмерной поверхности позволяет проанализировать зависимость значений выходной переменной от отдельных входных переменных. Комбинации входных переменных задаются в соответствии с их расположением на осях системы координат, показанных на рис. 7.

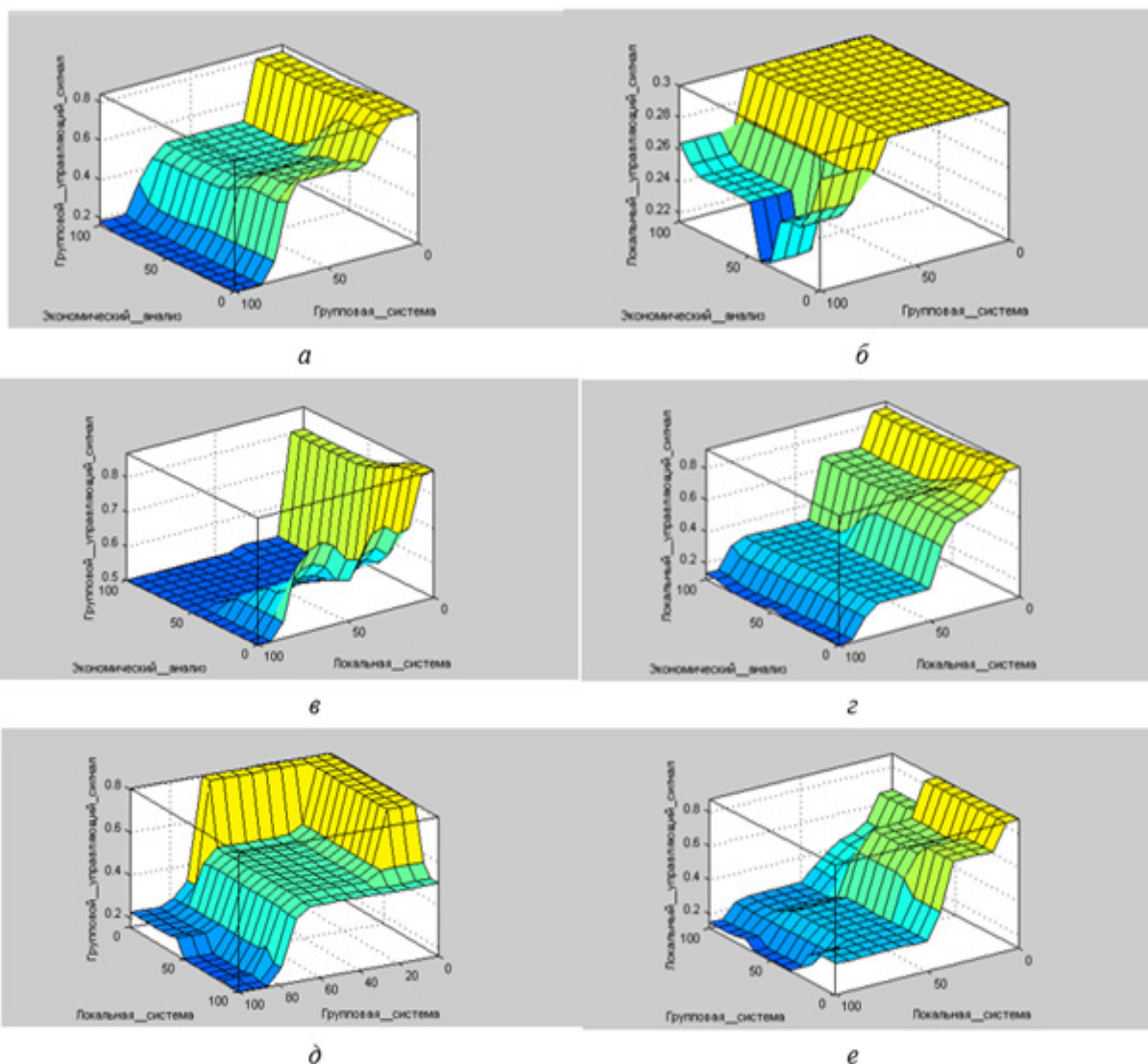


Рис. 7. Поверхности взаимоотношения переменных при совместном учете технико-экономических показателей:
а, в, д – Групповой управляющий сигнал; б, г, е – Локальный управляющий сигнал

Проанализировав полученную поверхность нечеткого вывода, можно сделать вывод о том, что она отвечает экспертным представлениям в рассматриваемой предметной области. Так, например, при снижении группового дебита системы скважин сигнал для управления на групповую и локальную систему должен быть увеличен.

Проведено сравнение функционирования системы управления с учетом работы блока экономического анализа и без него. Для оценки эффективности выбраны одинаковые значения локального и группового дебита в обоих случаях (рис. 8). Для системы с экономическим блоком для проверки выбраны два значения экономического показателя: 70 % (рис. 9) и 30 % (рис. 10).

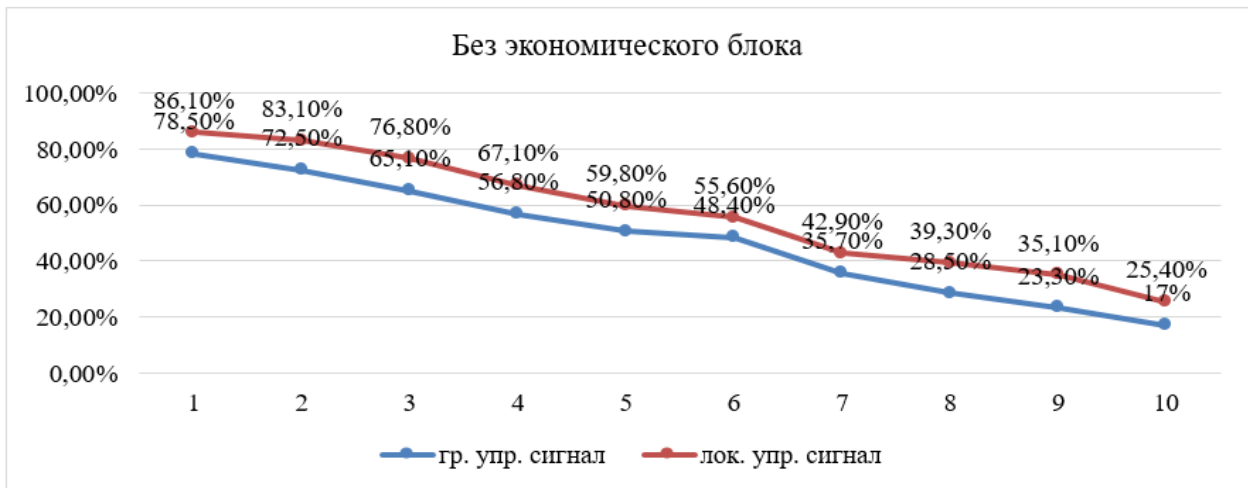


Рис. 8. График работы системы без экономического блока



Рис. 9. График работы системы при экономическом показателе 70 %

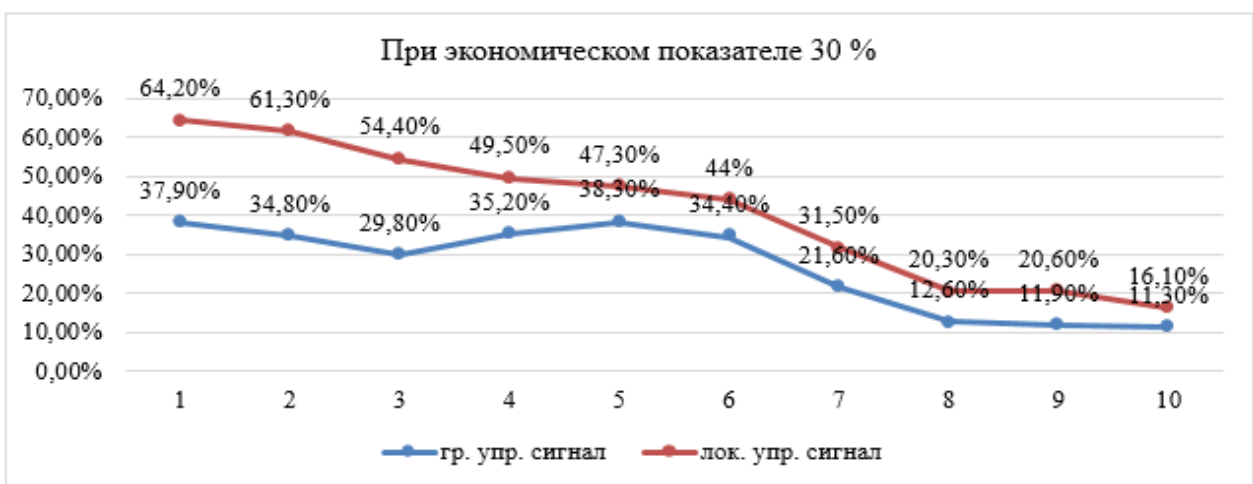


Рис. 10. График работы системы при экономическом показателе 30 %

Если в системе нет блока экономического анализа, то групповая интеллектуальная станция управления будет всегда стремиться к максимальному дебиту нефти, даже если рентабельность

скважины находится на низком или отрицательном уровне. В системе на основе комплексных технико-экономических показаний, интеллектуальная станция управления всегда опирается на рекомендации блока экономического анализа и не допускает снижения рентабельности скважин до низкого уровня.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расширение функциональных возможностей интеллектуальной СУ СШНУ в текущих условиях удовлетворяется за счет внедрения новых алгоритмов управления, реализуемых на базе современных интеллектуальных технологий с использованием контроллеров с постоянно увеличивающимися вычислительными ресурсами.

Модульный принцип построения открытой расширяемой архитектуры интеллектуальной станции управления СШНУ включает декомпозицию на постоянную и переменную части с целью дальнейшего расширения функциональных возможностей каждой конкретной станции управления различных производителей за счет добавления новых модулей: контроля и диагностики состояния наземного и подземного оборудования, управления режимами работы на основе оценки дебита и модуля определения коэффициента уравновешенности надземной части станка-качалки. Применение модульного принципа построения как аппаратной, так и программной части ИСтУ позволяет расширять функциональные возможности каждой конкретной станции управления различных производителей за счет добавления модулей оперативной диагностики и анализа, модуля сопряжения с другими ИСтУ в составе куста, что обеспечивает как рациональное проектирование, так и упрощение промысловой эксплуатации существующих установок.

Предложен алгоритм интеллектуального управления СШНУ на основе нечеткой логики, который позволяет принимать решение о дальнейшей эксплуатации установки при необходимом изменении конструктивных параметров установки либо о ее останове и ремонте. Дебит скважин при использовании интеллектуального управления остается на прежнем уровне, а в отдельных случаях и увеличивается. В случае необходимости, контроллер ИСтУ также может быть запрограммирован как на режим получения максимального дебита, так и на оптимизацию других параметров. Массовое оснащение скважин ИСтУ позволит значительно сократить потребление электроэнергии нефтедобывающими предприятиями, увеличить межремонтный период скважин, а также повысить общий уровень автоматизации производства.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-01172.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ильясов Б. Г., Комелин А. В., Тагирова К. Ф.** Интеллектуальная автоматизированная система управления установкой электроцентробежного насоса // Вестник УГАТУ. 2007. Т. 9, № 2 (20). С. 58–70. [B. G. Ilyasov, A. V. Komelin, K. F. Tagirova, "Intellectual automated control system for the installation of an electric centrifugal pump", (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 9, no. 2 (20), pp. 58-70, 2007.]
2. **Кулаев Э. Г., Елисеев Д. Б., Ветохин Е. Г.** Результаты применения станций управления УЭЦН с интеллектуальной системой в ОАО «Самотлорнефтегаз» // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2013. № 6. С. 19–25. [E. G. Kulaev, D. B. Eliseev, E. G. Vetokhin, "Results of the use of ESP control stations with an intelligent system in "Samotlorneftegaz", (in Russian), in *Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa*, no. 6, pp. 19-25, 2013.]
3. **Тагирова К. Ф.** Архитектура интеллектуальной автоматизированной системы управления насосной установкой нефтедобычи // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. 2018. Т. 2, № 2. С. 124–129. [K. F. Tagirova, "Architecture of intellectual automated control system of sucker-rod pumping unit", (in Russian), in *Vysokoproizvoditel'nye vychislitel'nye sistemy i tekhnologii*, vol. 2, no. 2, pp. 124-129, 2018.]

4. **Хакимьянов М. И.** Современные станции управления скважинными штанговыми глубиннонасосными установками // Нефтегазовое дело. 2014. Т. 12, № 1. С. 78–85. [M. I. Khakimyanov, "Modern control stations for well sucker-rod deep-well pumps", (in Russian), in *Neftegazovoe delo*, vol. 12, no. 1, pp. 78-85, 2014.]
5. **Зубаиров И. Ф.** Интеллектуальная скважина – повышение эффективности механизированной добычи // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2013. № 3. С. 25–32. [I. F. Zubairov, "Intellectual well – increasing the efficiency of mechanized production", (in Russian), in *Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz' v neftyanoj promyshlennosti*, no. 3, pp. 25-32, 2013.]
6. **Система** автоматического управления операциями по добыче нефти и газа-интеллектуальные скважины / А. Р. Гарифуллин [и др.] // Нефть. Газ. Новации. 2017. № 12. С. 24–32. [A. R. Garifullin, et al., "Automatic control system for oil and gas extraction operations – intellectual wells", (in Russian), in *Neft'. Gaz. Novacii*, no. 12, pp. 24-32, 2017.]
7. **Takacs G.** Electrical submersible pumps manual: design, operations, and maintenance. Gulf professional publishing, 2017. 574 p.
8. **Fang R., Zhu W.** Analysis of the history of the pumping unit // Drilling & Production Technology. 2011. Vol. 2. 20 p.
9. **Дьяченко О. И.** Методика управления операционной эффективностью эксплуатации нефтегазодобывающих компаний // Экономические науки. 2016. № 145. С. 76–82. [O. I. Diachenko, "The method of oil and gas fields operational efficiency management", (in Russian), in *Ekonomicheskie nauki*, no. 145, pp. 76-82, 2016.]
10. **Волгин В. А., Михайлов А. Г., Дьяченко О. И.** Особенности методического подхода к оценке эффективности работы фонда скважин и повышения его рентабельности // Территория Нефтегаз. 2010. № 11. С. 62–69. [V. A. Volgin, A. G. Mikhailov, O. I. Diachenko, "Features of the methodological approach to assessing the efficiency of the well stock and increasing its profitability", (in Russian), in *Territoriya Neftegaz*, no. 11, pp. 62-69, 2010.]
11. **Тагирова К. Ф.** Управление нефтедобывающим производством по техникоэкономическим критериям // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2008. № 5. С. 33–39. [K. F. Tagirova, "Management of oil production according to technical and economic criteria", (in Russian), in *Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz' v neftyanoj promyshlennosti*, no. 5, pp. 33-39, 2008.]
12. **Тагирова К. Ф.** Повышение эффективности добычи нефти на основе координации управления технологическими процессами и объектами // Вестник УГАТУ. 2008. Т. 10, № 2 (27). С. 48–52. [K. F. Tagirova, "Improving the efficiency of oil production based on the coordination of the management of technological processes and facilities", (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 10, no. 2 (27), pp. 48-52, 2008.]
13. **Новый** подход в планировании базовой добычи с автоматизацией методики поскважинного расчета / А. А. Рыбаковская [и др.] // ПРОнефть. Профессионально о нефти. 2021. Т. 6, № 2. С. 45–49. [A. A. Rybakovskaya, et al., "Automation of the forecasting process for wells base production", (in Russian), in *PROneft. Professional'no o nefti*, vol. 6, no. 2, pp. 45-49, 2021.]
14. **Ярушкина Н. Г.** Нечеткие системы: обзор итогов и тенденций развития // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. № 4. С. 26–38. [N. G. Yarushkina, "Fuzzy systems: a review of the results and development trends", (in Russian), in *Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij*, no. 4, pp. 26-38, 2008.]
15. **Ярушкина Н. Г.** Основы теории нечетких и гибридных систем. М.: Финансы и статистика, 2004. 320 с. [N. G. Yarushkina, *Fundamentals of the theory of fuzzy and hybrid systems*, (in Russian). Moscow: Finansy i statistika, 2004.]
16. **Дегтярев Г. Л., Сагдатуллин А. М.** Модель интеллектуальной поддержки управления процессами добычи и транспорта нефти в условиях неопределенности // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2020. Т. 1. С. 11–17. [G. L. Degtyarev, A. M. Sagdatullin, "Model of intellectual support of management of processes of oil production and transport of oil under uncertainty", (in Russian), in *Matematicheskie metody v tekhnike i tehnologiyah – MMTT*, vol. 1, pp. 11-17, 2020.]

ОБ АВТОРАХ

- ТАГИРОВА Клара Фoaтовна**, проф. каф. ТК. Д-р техн. наук по упр. в техн. системах (УГАТУ, 2008). Иссл. в обл. интеллект. систем контроля, диагностики и управления сложными техническими системами и технологическими процессами.
- ШАЛУПОВ Иван Сергеевич**, магистрант каф. ТК. Дипл. бакалавра (УГАТУ, 2020), магистр (УГАТУ, 2022). Иссл. в обл. интеллект. систем управления.
- ВУЛЬФИН Алексей Михайлович**, доцент каф. ВТиЗИ. Дипл. инженера-программиста (УГНТУ, 2008). Канд. техн. наук по системному анализу, управлению и обработке информации (УГАТУ, 2012). Иссл. в обл. интеллектуального анализа данных и моделирования сложных технических систем.
- TAGIROVA, Klara Foatovna**, Prof., Dept. of Engineering cybernetics. Dr. of Tech. Sci. (USATU, 2008).
- SHALUPOV, Ivan Sergeevich**, Master's Student, Dept. of Engineering cybernetics. Dipl. bachelor (USATU, 2020), Master of Sci. (USATU, 2022).
- VULFIN, Alexey Mikhailovich**, Assoc. Prof., Dept. of Computing equipment and information protection. Dipl. software engineer (UGNTU, 2008). Cand. of Tech. Sci. of systems analyst, councils recommend measure and information processing (USATU, 2012).

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 26, no. 3 (97), pp. 78-89, 2022. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).