

Разработка интеллектуальной информационной системы «Умное месторождение» для месторождений минеральных вод

В. В. Мишин, В. В. Цаплева, А. В. Мясникова, А. А. Макарова

Северо-Кавказский федеральный университет

kv1961@live.ru, vtcapleva@ncfu.ru

Аннотация. Необходимость перехода к автоматизации управления дебитом скважин с применением систем класса «Умное месторождение» обоснована важностью внедрения технологий Индустрии 4.0 в такой предметной области, как добыча минеральной воды. В работе показано, как могут применяться системы класса «Умное месторождение» в технологиях извлечения природных ресурсов применительно к месторождениям минеральных вод. В настоящее время опыт применения таких систем на месторождениях минеральных вод отсутствует, поэтому задача разработки интеллектуальной информационной системы «Умное месторождение» существенно улучшит ситуацию в области природопользования.

Ключевые слова: интеллектуальная информационная система, умное месторождение, Индустрия 4.0, месторождения минеральных вод, дебит месторождения, управление дебитом

I. ВВЕДЕНИЕ

Технологии Индустрии 4.0 предполагают внедрение комплекса интеллектуальных сервисов при автоматизации предметной области. Внедрение умных технологий в области добычи минеральной воды находится на нулевой отметке. Информационные системы контроля состояния месторождений в данной предметной области также отсутствуют. Таким образом, процессы автоматизации предметной области будут происходить одновременно с внедрением интеллектуальных сервисов. Проектировать архитектуру такой информационной системы необходимо сразу с ориентацией на архитектуру систем класса Индустрия 4.0, что является целесообразным решением.

Моделирование онтологии проекта позволит разработать систему интеллектуальных сервисов. Одним из базовых алгоритмов математического обеспечения информационной системы является алгоритм распределенного регулятора, хорошо изученный для данной предметной области [1–4]. Системы управления технологическими процессами извлечения ресурсов широко применяются как в нефтегазовой сфере, так и в области добычи гидроминеральных ресурсов [3–6]. Разработка надстройки, позволяющей сформировать интеллектуальный режим управления, является новым предложением и требует рассмотрения ряда новых решений, учитывающий сложный характер объекта управления.

Информационные системы класса «Интеллектуальное месторождение», внедренные в нефтегазовом секторе, не применялись для организации эффективного режима работы месторождений

минеральных вод. Работы школы профессора Першина позволили определить базовые принципы работы «Регулятора» для месторождений минеральных вод [1, 2]. Эти разработки требуют интеграции в систему интеллектуальных сервисов так, чтобы было возможно построение информационной системы класса «Интеллектуальное месторождение» для такой перспективной сферы, как разработка месторождений минеральных вод.

II. МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

Технология «Умное месторождение» активно применяется при добыче нефти и газа, но возможности указанной технологии не изучены в отношении перспективной для региона Кавказские Минеральные Воды технологии управления эксплуатацией месторождениями минеральных вод.

Представим схему разреза месторождения минеральных вод «Нагутское» (рис. 1). Представленная схема показывает, что систем месторождений минеральных вод является сложным гидрогеологическим объектом.

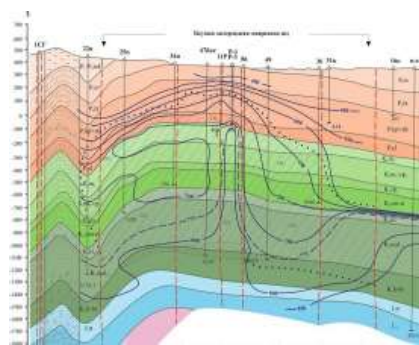


Рис. 1. Схема разреза месторождения минеральных вод «Нагутское»

Сложность управления состоянием такого объекта, как месторождение минеральных вод, определяется тем, что многие характеристики месторождения динамически меняются и условно могут быть зафиксированы в определенном диапазоне, границы которого требуют проведения дополнительных гидрогеологических работ. Такие изыскания могут быть выполнены только в совместных с добывающими предприятиями исследованиях, такие мероприятия требуют допуска к объекту исследования.

В то же время технология «Умное месторождение» предполагает, что на основе анализа набора определенных характеристик объекта принимаются оперативные решения о продолжении или приостановке процесса эксплуатации объекта. На рис. 2 представлена

упрощенная схема работы системы «Умное месторождение» применительно к нефтегазовому объекту эксплуатации.

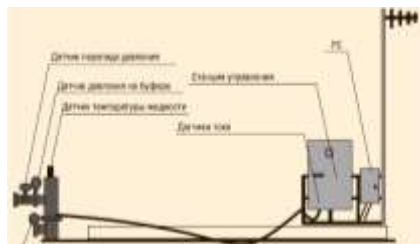


Рис. 2. Упрощенная схема работы системы «Умное месторождение»

Границы допустимого отбора минеральной воды задаются контролирующими процессы эксплуатации ресурсной базы организациями, но зачастую эти данные опираются на гидрогеологические исследования, проведенные еще в прошлом веке, в семидесятые годы, когда процесс освоения месторождений минеральных вод велся активно и сопровождался гидрогеологическими изысканиями.

Технологии, применяемые при разработке систем класса «Умное месторождение» в нефтегазовой отрасли, совершенно не применимы при разработке систем управления состоянием месторождений минеральных вод. Объект управления является сложной системой, технологии извлечения минеральных вод существенным образом отличаются от технологий, применяемых при извлечении нефти или газа. С одной стороны, процесс добычи минеральной воды проще, так как вода поступает самоизливом, достаточно организовать процесс включения, либо отключения аппаратуры, определяющей процесс извлечения воды. Остается открытым вопрос разработки алгоритма определения момента включения/отключения процесса добычи. Отметим, что существуют контрольные цифры отбора, также существует экономическая целесообразность отбора определенного объема воды, и, наконец, важным является сохранение гидроминерального состава воды.

Разработка интеллектуальной информационной системы «Умное месторождение», функционал которой соответствует требованиям технологий индустрии 4.0, потребует проведения детального анализа комплекса параметров, подлежащих настройке с помощью интеллектуальных сервисов системы.

Параметры технологии извлечения минеральной воды можно разделить на два класса: это параметры, которые оперативно меняются в широком диапазоне и параметры, которые меняются незначительно и имеют установленные оптимальные значения. Для первого класса параметров также существует оптимальный диапазон значений, но он достаточно широкий. В то же время важно знать пределы этого диапазона. Для второго класса параметров диапазон возможных изменений очень узкий, они изменяются в окрестности оптимальных для данной режима эксплуатации величин. Такие режимы и диапазоны величин установлены опытным путем в результате многолетних наблюдений за процессами эксплуатации месторождений минеральных вод.

Отметим необходимость разработки соответствующей инфраструктуры, позволяющей

организовать дистанционную передачу параметров с датчиков на скважине.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ

Работа интеллектуальных сервисов представляет собой постоянную подстройку управляющего контура системы под внешние условия. Эта обратная связь обеспечивает эффективность управления режимом эксплуатации месторождения. При разработке систем класса «Интеллектуальное месторождение» для нефтегазовой области используется система классификации скважин, представленная на рис. 3. Если сделать попытку представить процесс аналогичным образом, можно показать, что онтология проекта будет сформирована подобно онтологии проектов умного управления нефтегазовыми скважинами.



Рис. 3. Классификация скважин «Умного месторождения»

Схема рис. 3, используемая при разработке онтологии, может быть отражена на языке описания онтологий OWL (манчестерский синтаксис).

```
Class: Well
Annotations:
  rdfs: label «Скважина»@ru,
  rdfs: label «Well»@en
```

Пласты месторождений не являются однородными. Для нефтегазовых месторождений рассматривается следующая онтология, представленная на рис. 4.



Рис. 4. Классификация пластов газового месторождения

Таким образом, может быть сформирована онтология проекта системы управления состоянием месторождения минеральных вод, объекты и классы которой будут подобны представленным на рисунках моделям.

Возможно усложнение модели и переход к моделированию в нотации UML с использованием программного продукта Rational Rose. Диаграмма объектов и классов информационной системы представлена на рис. 5.

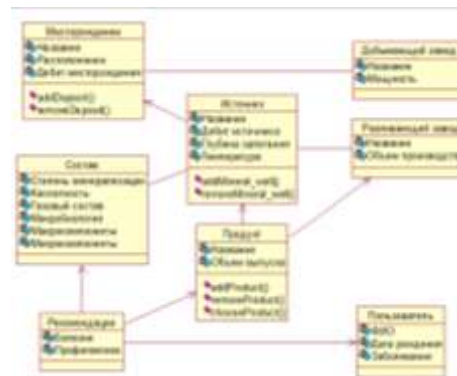


Рис. 5. Диаграмма объектов и классов интеллектуальной информационной системы «Умное месторождение»

На представленной выше диаграмме показаны такие классы, как месторождение, завод, пользователь (условный потребитель услуги). Рассматривается модель, в которой пользователь получает балансеологическое лечение на курортах Кавказских Минеральных Вод. Информация о составе минеральной воды позволяет сформировать рекомендации в соответствии с заболеванием.

Представим условную схему объекта управления. Как показано на рис. 6, объект включает в себя добывающую и контрольные скважины. Это позволяет контролировать уровень воды в скважинах. Необходимо, используя существующие технологии управления объектом, организовать интеллектуальный механизм контроля за состоянием объекта. Основным параметром, который необходимо контролировать, является дебит скважины.

Методика и технологии определения дебита скважины показаны схематически на рис. 6. При реализации контроля дебита традиционными методами контроль носит в значительной степени временной характер: например, добыча проводится в течение определенного инженером временного промежутка, далее процесс прекращается с тем, чтобы объект мог восстановиться.

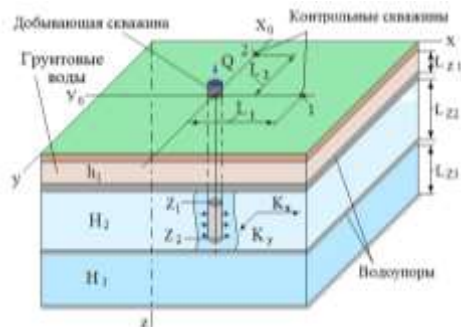


Рис. 6. Технология контроля дебита скважины

Положим, что на добывающей скважине скачком был увеличен дебит на $100 \text{ м}^3/\text{сут}$. Понижение уровня в установившемся режиме в области расположения забортного устройства скважины, составило $0,25 \text{ м}$. Корректируя параметры, добиваемся понижения уровня $0,25 \text{ м}$ в установившемся режиме дискретной модели гидrolитосферного процесса, в точке расположения добывающей скважины (в середине пласта). Изменения характера технологии извлечения позволяет провести анализ ряда процессов, происходящий в сфере гидrolитосферного объекта. Такие процессы, как и объект, относятся к природным, сложно моделируемым процессам и системам.

Разработка системы интеллектуальных сервисов, позволяющих перевести представленные режимы управления объектом в режим «умная скважина», не сводятся только к эксплуатационным режимам месторождений. Значительные массивы информации, отражающие динамические изменения химической формулы, отражающей минеральный состав воды, должны стать основой сегмента базы данных интеллектуальной информационной системы «Умное месторождение». Целесообразно установить контроль за состоянием минерализации ресурса, так как длительные исследования месторождений минеральных вод показывают возможность значительного снижения минерализации в ходе эксплуатации объекта.

Анализ онтологии проекта позволяет перейти к развернутому анализу состава информационного обеспечения проекта. При разработке структуры информационного обеспечения использовался принцип «границы» исследуемой системы. Таким образом, все, что не является существенным для построения базовой версии проекта, не принимается во внимание на этапе построения прототипа. Такой метод проектирования позволяет получить работоспособную версию информационной системы, которая будет тестироваться и позволит перейти к этапу разработки технического задания для полнофункциональной версии продукта. Интерфейс системы сформирован в формате прототипа. Большая часть функций системы реализуется в автоматическом режиме, наличие условного диалога с пользователем служит больше для визуализации результата.

На рис. 7 показана схема системы управления, применяемая в технологии «Регулятор». Такая схема может быть переведена в режим «Умное месторождение». Предлагается на первом этапе введение в эксплуатацию интеллектуального модуля «Дебит», работа которого будет обеспечивать контроль параметров скважины в удаленном режиме. Модуль получает данные эксплуатационного режима, анализирует эти данные и принимает решение об остановке процесса в случае выполнения ряда условий: отбор необходимого объема воды, соблюдение рабочих диапазонов процесса. Также этот модуль предусматривает аварийную остановку процесса в случае выхода параметров эксплуатационного режима за установленные рабочие диапазоны.

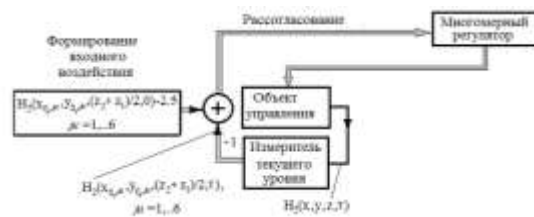


Рис. 7. Схема системы управления технологии «Регулятор»

В работе вычислительной схемы используется ряд данных месторождения. К коэффициентам фильтрации и упругости в ходе расчетов добавляется набор геометрических характеристик, которые описывают размер месторождения, высоту и локализацию водоносного пласта, расположение добывающей и контрольных скважин. Технология «Регулятор» хорошо изучена во время исследований на месторождениях минеральных вод региона. Эта технология показывает высокую достоверность используемых моделей. Можно использовать возможности технологии «Регулятор» на новом уровне, перейдя к системе интеллектуальных сервисов с использованием хорошо зарекомендовавших себя алгоритмов технологии.

В ходе разработки интеллектуальной информационной системы «Умное месторождение» возник ряд проблем, которые предстоит решить. К таким проблемам относится, в первую очередь, переход к современной аппаратной инфраструктуре, обеспечивающей дистанционную передачу эксплуатационных параметров на удаленное рабочее место оператора системы «Умное месторождение». Отдельной задачей является доработка инновационных интеллектуальных алгоритмов системы, что позволит перейти к полевым испытаниям.

Ход исследований совместной работы модулей «Регулятор» и «Умное месторождение» дает возможность интеграции работы этих модулей. Необходимо провести дальнейшие исследования в отношении расчета передаточной функции с целью автоматизации рекурсивного построения распределенного регулятора. Модуль «Регулятор» позволяет проводить расчет параметров распределенной системы управления рассматриваемым процессом. Работа над функционалом модуля «Интеллектуальное месторождение» требует дальнейшей разработки онтологии предметной области, расширения набора алгоритмов, применяемых при моделировании, а также тестирования интеллектуальных сервисов в полевых условиях.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отметим наиболее важные результаты проведенного исследования. Выполнено проектирование онтологии проекта, выделены основные параметры и характеристики месторождений минеральных вод, выявлены взаимосвязи между объектами месторождения, определены классы и объекты исследуемой модели месторождений, показано, что онтология проекта может рассматриваться в формате OWL. Представлена расширенная модель объектов и классов месторождения минеральных вод, выполненная в формате UML. Представлено исследование структуры сложной структуры управляемого объекта.

Работы по исследованию месторождений минеральных вод, проводимые на базе Северо-Кавказского федерального университета совместно с добывающим предприятием АО «Нарзан» позволили определить базовые принципы работы интеллектуальной информационной системы «Умное месторождение». Эти разработки требуют интеграции системы интеллектуальных сервисов в существующие технологии управления технологией извлечения ресурсов месторождений.

Месторождения минеральных вод являются сложным природным объектом, гидрогеологические характеристики которого динамически изменяются. Соответственно набор параметров и характеристик месторождения, численные значения которых будут определять интеллектуальную настройку системы, должен быть определен таким образом, чтобы система могла функционировать адекватно. Ход исследований параметров технологии эксплуатации месторождения является многошаговым процессом, требующим итерационной настройки и большого объема полевых

исследований непосредственно на объекте. Для эффективной реализации интеллектуальной информационной системы «Умное месторождений» на первом этапе предлагается обеспечить связную работу интеллектуального сервиса «Дебит» с аппаратной инфраструктурой системы. Датчики на скважине обеспечивают передачу оперативных данных по дебиту на удаленный компьютер. Работа интеллектуального сервиса «Дебит» обеспечивает возможность остановки процесса в случае достижения определенного интеллектуальным алгоритмом величины объема отбора минеральной воды с учетом ряда дополнительных факторов.

Моделирование онтологии проекта позволит разработать систему интеллектуальных сервисов. Одним из базовых алгоритмов математического обеспечения информационной системы является алгоритм распределенного регулятора. Исследования доказали, что детальное структурирование данных месторождения минеральных вод позволяет автоматизировать вычисления на уровне систем класса «умное месторождение» и реализовать интеллектуальный механизм тонкой настройки технологического режима работы месторождения минеральных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Martirosyan A.V., Martirosyan K.V., Chernyshev A.B. Calculation of the First Switch-on Time of Distributed Object's Control Action. // EIConRus 2020. Sankt-Petersburg, 2020, pp. 750-754. <https://doi.org/10.1109/EIConRus49466.2020.9039348>.
- [2] Martirosyan A.V., Martirosyan K.V., Mir-Amal A.M., Chernyshev A.B., Assessment of a Hydrogeological Object's Distributed Control System Stability. // Proceedings of the IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). Sankt-Petersburg, 2022, pp. 768-771. <https://doi.org/10.1109/EIConRus54750.2022.9755601>.
- [3] Ilyushin Y.V., Fetisov V.A. Experience of virtual commissioning of a process control system for the production of high-paraffin oil. Sci Rep 12, 18415, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21778-0>.
- [4] Matrokhina K.V., Trofimets V.Y., Mazakov E.B., Makhovikov A.B., Khaykin M.M. Development of methodology for scenario analysis of investment projects of enterprises of the mineral resource complex. // Journal of Mining Institute. 2022, no. 259, pp. 112-124. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.3>
- [5] Ilyushin Y.V. Development of a Process Control System for the Production of High-Paraffin Oil // Energies. 2022, no. 15 (6462). <https://doi.org/10.3390/en15176462>
- [6] Korshunov G.I., Ereemeeva A.M., Drebenstedt P. Justification of the use of a vegetal additive to diesel fuel as a method of protecting underground personnel of coal mines from the impact of harmful emissions of diesel-hydraulic locomotives. // Journal of Mining Institute. 2021, no. 247, pp. 39-47. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.1.5>.