

Информационно-программное обеспечение автоматизированной системы научных исследований живучести объектов добычи газа

А.Ф. Валеев

Ссылка для цитирования

Валеев А.Ф. Информационно-программное обеспечение автоматизированной системы научных исследований живучести объектов добычи газа // Программные продукты и системы. 2023. Т. 36. № 2. С. 263–271. doi: 10.15827/0236-235X.142.263-271

Информация о статье

Поступила в редакцию: 28.09.2022

После доработки: 09.01.2023

Принята к публикации: 31.01.2023

Аннотация. Работа посвящена автоматизации информационных процессов научных исследований живучести объектов добычи газа в условиях обводнения скважин. Предложена структура автоматизированной системы научных исследований живучести объектов добычи газа, которая включает математический аппарат для моделирования объектов «пласт–скважина», процессов обводнения и средств обеспечения живучести – различных технологий борьбы с обводнением. Существующее на рынке прикладное ПО для выполнения гидродинамического моделирования или гидравлических расчетов не позволяет исследовать живучесть объектов добычи газа, поэтому разработано новое информационное и программное обеспечение автоматизированной системы научных исследований. Оно дает возможность оценивать показатели живучести объектов добычи газа в условиях обводнения и помогает специалисту принимать решения по ее повышению за счет применения технологий борьбы с обводнением на скважинах. Компоненты автоматизированной системы создавались на основе системного анализа, теории гидравлики и нефтегазовой механики, методов объектно-ориентированного программирования, статистического анализа, теорий графов, моделирования и управления, метода узлового анализа и др. В результате прогностического моделирования рассчитывается коэффициент живучести объектов добычи газа с учетом свойств результативности, ресурсоемкости при использовании средств обеспечения живучести. На основе заданного критерия ПО системы предлагает наилучшую технологию борьбы с обводнением объекта добычи газа.

Ключевые слова: автоматизированная система научных исследований, информационное и программное обеспечение, добыча газа, обводнение, живучесть

Добыча углеводородного сырья на поздней стадии разработки большинства газовых, газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений в России и в других странах осуществляется в условиях низкого пластового давления и обводнения скважин. Это является причиной вывода части скважин из эксплуатации. Например, на уникальном по запасам газа Оренбургском нефтегазоконденсатном месторождении, которое разрабатывается более 50 лет, обводнены порядка 30 % газовых скважин. При этом установлено, что дренируемых запасов газа части обводненных скважин достаточно для промышленной добычи при использовании технологий извлечения пластовой жидкости.

Каждый способ извлечения пластовой жидкости имеет свои технологические особенности: применяется в определенных условиях, учитывающих технические ограничения конструкции скважины, характеристики пласта, величину остаточных дренируемых запасов газа, объем пластовой жидкости, запас пластовой энергии, наличие источника электроэнергии вблизи скважины и др. Вследствие этого научные исследования применения различных технологий извлечения пластовой жидкости и периода их внедрения становятся необходи-

мым условием поддержания добычи продукции газоконденсатных месторождений на проектном уровне и рациональной разработки залежи, а автоматизация процессов исследований позволит сократить время на расчеты по подбору необходимой технологии и на окончательное принятие решения по выбору компоненты ее реализации в течение определенного периода использования на выбранной скважине. Действие этого механизма невозможно без информационно-программного инструмента, решающего рутинные задачи по подготовке, обработке, верификации, хранению и анализу данных об объекте исследования.

Состояние проблемы научных исследований объектов добычи газа в условиях обводнения

Характеризовать неблагоприятное воздействие обводнения скважин на систему добычи газа, ухудшающее проницаемость призабойной зоны и приводящее к снижению эксплуатационных показателей скважин и месторождения в целом, предлагается свойством живучести [1]. Повышение живучести обводненных газовых скважин возможно при использовании

технологий борьбы с обводнением – средств обеспечения живучести (СОЖ).

На рисунке 1 представлены способы эксплуатации сухой (а) и обводненной (б–ж) газовых скважин, подразделяющиеся в зависимости от источника энергии для извлечения пластовой жидкости на две группы. Первая группа включает способы, которые используют энергию пласта: (а, б) – фонтанный, (в) – концентрическая лифтовая колонна (КЛК) с автоматикой на устье скважины, продувка скважины, (г) – плунжер-лифт. Ко второй группе относятся механизированные способы добычи, использующие привлеченную внешнюю энергию (электроэнергию, энергию закачиваемого газа и др.): (д) – установка электроцентробежного насоса (УЭЦН), (е) – установка винтового

и тангового насоса (УВШН), (ж) – газлифт. К СОЖ относятся способы эксплуатации (в–ж).

Объект добычи газа представляет собой сложную геотехническую систему. Процессы живучести объектов добычи газа в условиях обводнения являются малоизученными. Практически каждый объект добычи уникален, и при подборе необходимого СОЖ для повышения его живучести требуются дорогостоящие экспериментальные исследования. Для сокращения ресурсозатрат на экспериментальные исследования предлагается проведение научных исследований с моделью объекта [2]. Такие исследования являются сложной, трудоемкой задачей, связанной с обработкой больших объемов информации, и требуют автоматизации информационных процессов.

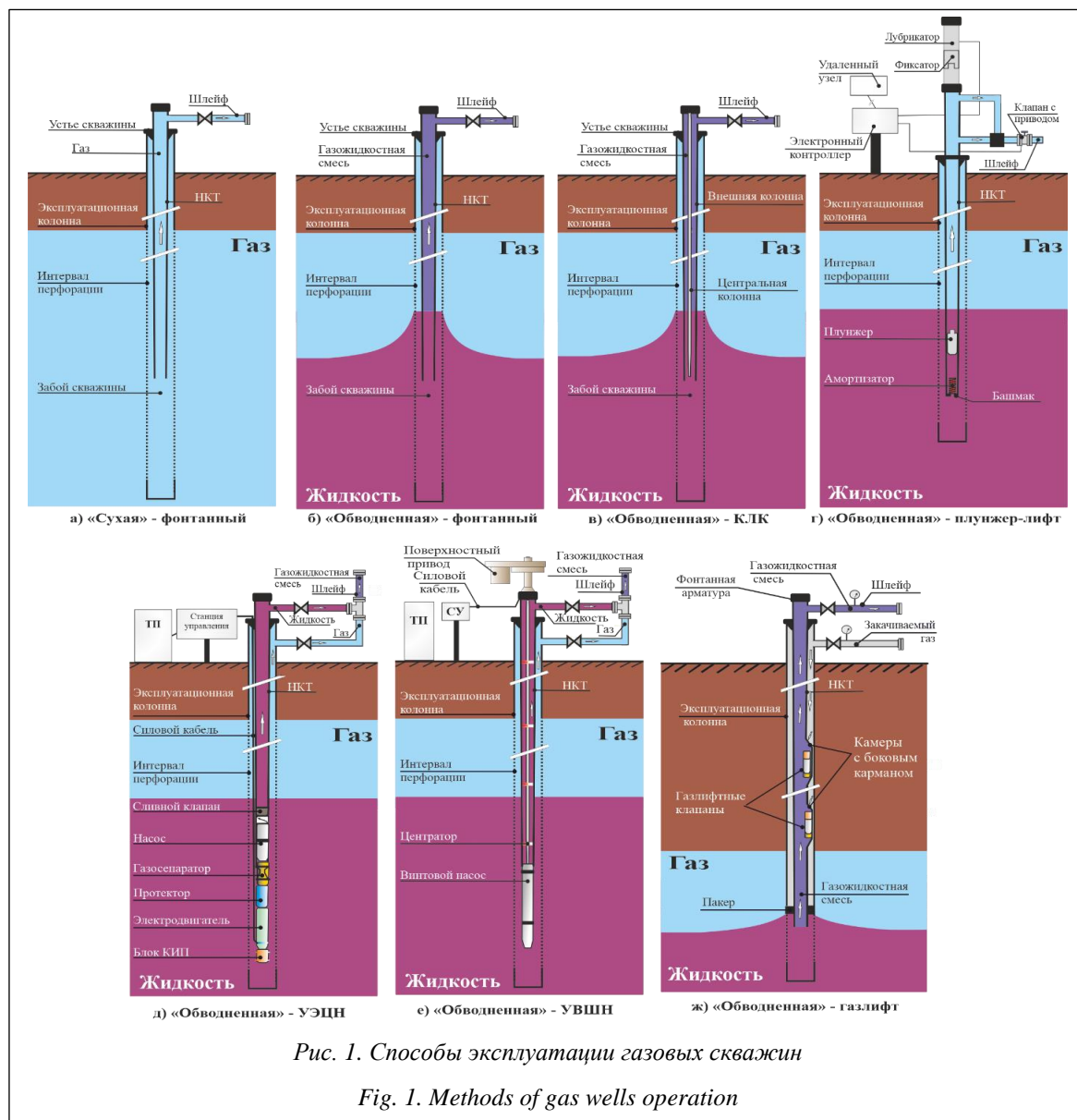


Рис. 1. Способы эксплуатации газовых скважин

Fig. 1. Methods of gas wells operation

Проведем анализ существующего специализированного ПО для моделирования системы добычи углеводородного сырья:

– PIPESIM представляет собой симулятор многофазного установившегося потока от пласта до устья скважины; позволяет оптимизировать механизированную добычу (УЭЦН, УЭВН, штанговый насос и газлифт) [3];

– PROSPER – инструмент для моделирования скважин и трубопроводов; позволяет подбирать оборудование для механизированной добычи: газлифт, УЭЦН, струйные насосы, штанговые насосы с учетом конструкции скважины, характеристики притока к забою; доступна БД оборудования (насосов, клапанов, электродвигателей и т.д.) [4];

– tNavigator (RFD); модуль «Дизайнер скважин» является частью интегрированного геолого-технологического симулятора, предназначен для моделирования скважин с учетом конструкции и траектории, свойств флюида и характеристик притока углеводородов из продуктивного пласта [5];

– программный комплекс «Автотехнолог»; предназначен для подбора и оптимизации оборудования нефтяной скважины, оснащенной УЭЦН, УВШН, штанговой насосной установкой, позволяет рассчитывать показатели системы «нефтяной пласт–скважина–насосная установка» на основе авторских методик [6].

Рассмотренное коммерческое информационно-программное обеспечение (с закрытым программным кодом) предназначено для подбора оборудования механизированной добычи из нефтяных скважин по однорядному лифту (по насосно-компрессорным трубам или межтрубному пространству). Оно не позволяет моделировать СОЖ и исследовать живучесть объектов добычи газа газоконденсатного месторождения, а также интегрировать данные продукты в существующую на предприятии информационно-программную инфраструктуру, модифицировать их и самостоятельно разрабатывать дополнительный функционал.

Для автоматизации процессов научных исследований применяются специализированные *автоматизированные системы научных исследований* (АСНИ) [7]. Примеры использования таких систем в газодобывающей отрасли автору не известны, этим и объясняется возникновение идеи разработки новой системы для исследования живучести объектов добычи газа в условиях неблагоприятных воздействий обводнения.

АСНИ живучести объектов добычи газа

Компонентами АСНИ являются различные виды обеспечения: методическое, информационное, программное, техническое и организационно-правовое (<https://web.archive.org/web/20070928082241/http://linux.nist.fss.ru/hr/doc/gtk/asni.htm>).

Большинство АСНИ построены с использованием интегрированного [8] или системно-ориентированного подхода. В работах [9, 10] описана методология нового каркасного мультифрактально-модельного построения АСНИ. В основе данного подхода лежат механизм конфигурирования и использование мультифрактальных математических моделей для решения функциональных задач автоматизированных систем в различных предметных областях.

С учетом существующих подходов к построению АСНИ разработана структура АСНИ живучести объектов добычи газа (рис. 2) [11].

Методическое обеспечение АСНИ создавалось на основе системного анализа, теории гидравлики и нефтегазовой механики, статистического анализа, теорий графов, моделирования и управления, метода узлового анализа и др. с учетом стандартов нефтегазовой отрасли (включая методики Газпрома). Предложена математическая модель для оценки коэффициента живучести системы добычи газа в условиях обводнения скважин. Живучесть объектов добычи газа оценивается с учетом свойств результативности, ресурсоемкости и длительности использования СОЖ в условиях обводнения [12].

Модель живучести системы добычи газа (рис. 2) содержит модели неблагоприятного воздействия обводнения, физических процессов, модель «пласт–скважина», в основе которой заложена интегрированная геолого-технологическая модель месторождения, модели первичных последствий неблагоприятного воздействия обводнения, средств обеспечения живучести, развития первичных последствий неблагоприятного воздействия обводнения, а также блок расчета показателей живучести системы добычи газа при различных вариантах использования СОЖ.

Выбор наилучшего СОЖ для объекта добычи газа определяется вариантом системы добычи газа, у которого коэффициент живучести принимает максимальное значение, при условии, что дебит газа больше рентабельного дебита (обеспечивающего компенсацию ресурсозатрат на эксплуатацию скважины с СОЖ).

Разработка информационного и программного обеспечения АСНИ живучести объектов добычи газа

Предлагаемая структура информационно-программного обеспечения АСНИ представлена на рисунке 3.

Изначально компонентами системы были автономные автоматизированные информационно-программные системы. В настоящее время все подсистемы интегрированы в единую АСНИ, включающую систему моделирования

живучести объектов добычи газа в условиях обводнения.

Информационное обеспечение АСНИ включает БД РУиПМ, БД ГПИ, БД ОСОЖ и БД РМ. Структура БД ГПИ представлена на рисунке 4. Она содержит исходные данные о геологическом строении, вскрытых участках продуктивного пласта, свойствах и составе пластового флюида, об объекте добычи газа (местоположении, траектории, конструкции и оборудовании, технологических режимах работы, простоях скважин), результаты исследований (геофизиче-

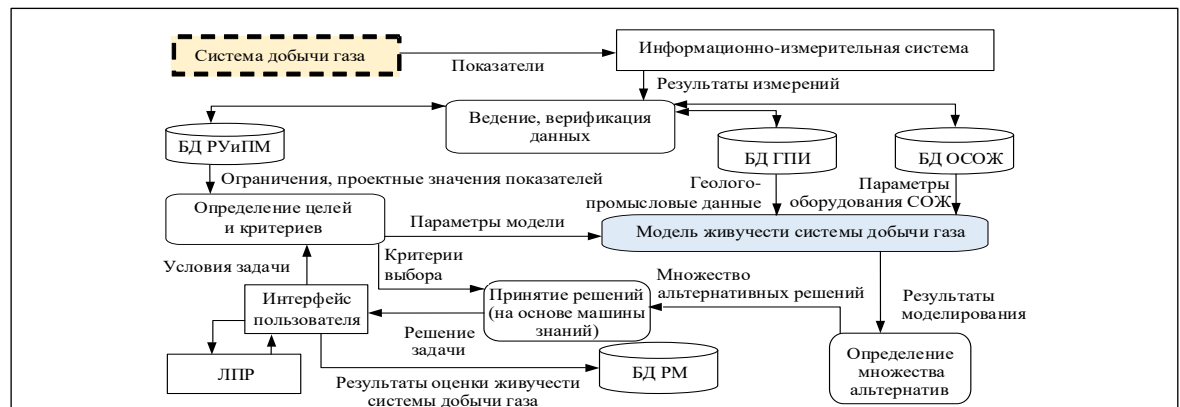


Рис. 2. Модель информационных потоков АСНИ живучести объектов добычи газа в условиях обводнения: РУиПМ – рекомендуемые уставки и планы мероприятий; ГПИ – геолого-промысловая информации; ОСОЖ – оборудование СОЖ; РМ – результаты моделирования

Fig. 2. A model of information flows of an automated system for scientific research of the survivability of gas production facilities under flooding conditions

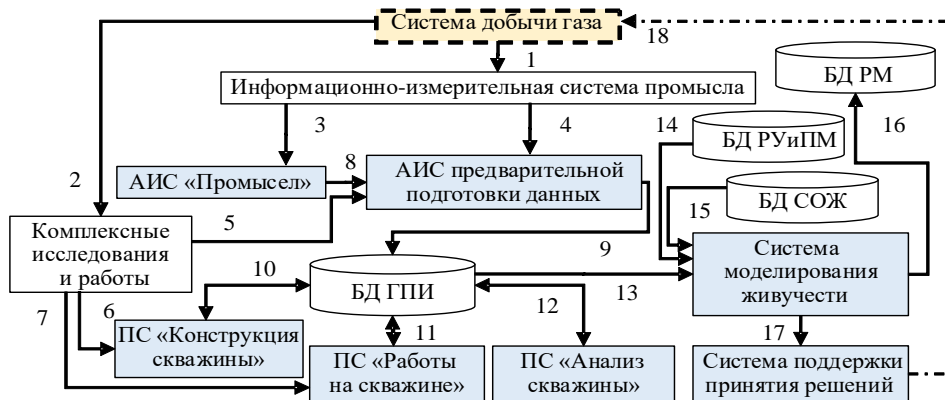


Рис. 3. Структура информационно-программного обеспечения АСНИ живучести объектов добычи газа: АИС – автоматизированная информационная система; ПС – программная система; 1, 2 – показатели системы добычи газа; 3, 4, 5 – результаты измерений и исследований скважин; 6, 10 – данные о конструкции и оборудовании скважин; 7, 8, 9, 11, 12, 13 – геолого-промысловые данные; 14 – технологические ограничения, проектные значения показателей добычи углеводородов, исходные экономические данные; 15 – параметры оборудования СОЖ; 16 – расчетные значения показателей системы добычи газа с СОЖ и без СОЖ, показатели живучести системы добычи газа; 17 – рекомендации по использованию СОЖ; 18 – рекомендации по управлению воздействием

Fig. 3. The structure of the information and software of the automated system of scientific research on the survivability of gas production volumes

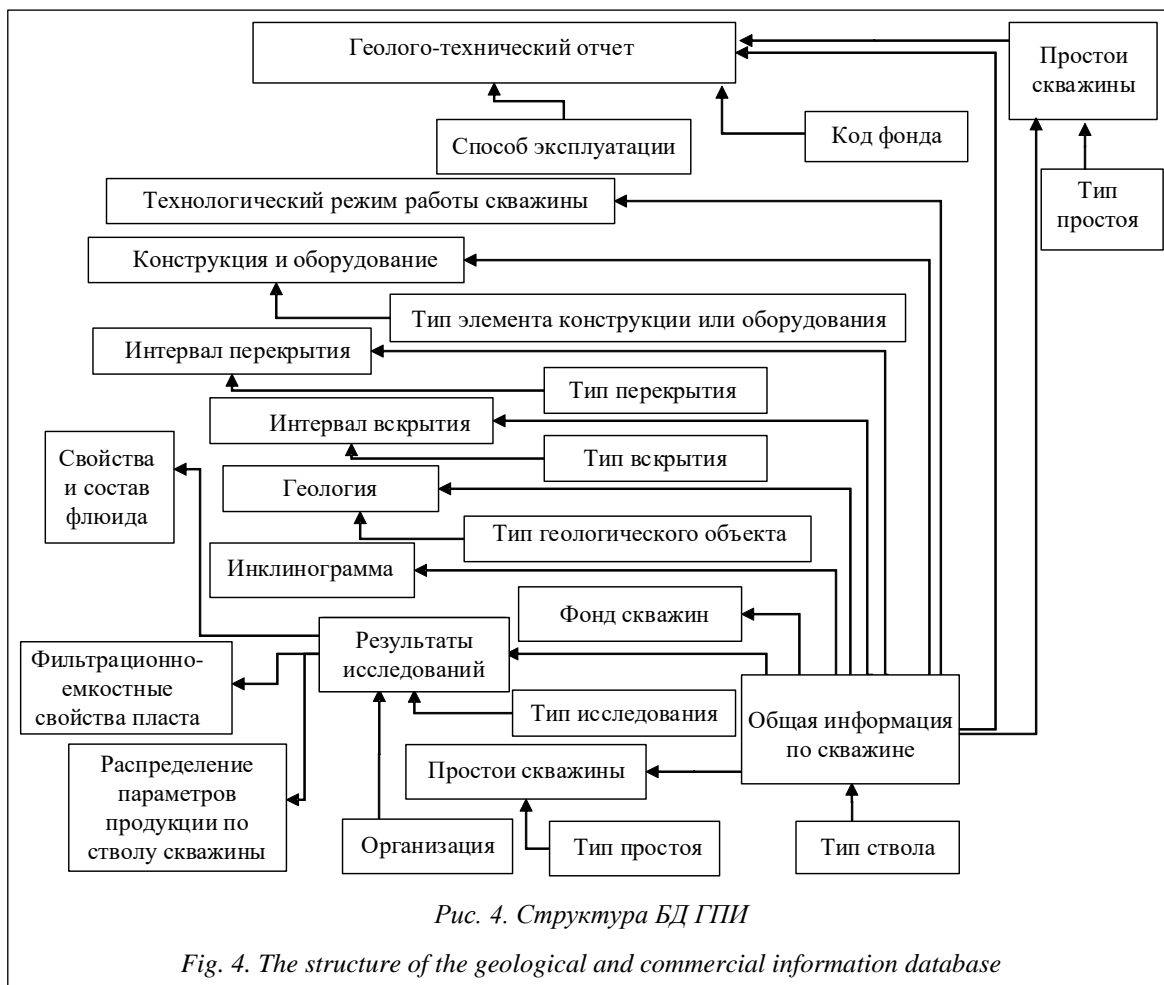


Рис. 4. Структура БД ГПИ
 Fig. 4. The structure of the geological and commercial information database

ских, газогидродинамических, промысловых и лабораторных), геолого-техническую отчетность и прочую информацию.

Даталогическая модель БД РМ представлена на рисунке 5. Данная БД предназначена для хранения исходной информации и результатов моделирования: параметры объектов добычи газа, оборудование СОЖ, исследователь, выполняющий моделирование, а также заданные условия, при которых проводится расчет.

Для обработки данных об объектах добычи газа разработаны и интегрированы друг с другом перечисленные далее системы.

- ПС «Работы на скважине» для внесения, верификации и анализа первичных результатов геолого-промысловых и лабораторных исследований скважин, расчета пластовых давлений, оперативного доступа специалиста к каталогу отчетных документов и результатам проведенных мероприятий, к информации о распределении давления, температуры и плотности продукции по стволу скважины.

- ПС «Анализ скважины» для анализа геолого-промысловых информации, расчета дре-

нируемых запасов, формирования отчетных форм для авторского надзора за разработкой месторождений.

- ПС «Конструкция скважины» для ведения, визуализации и анализа данных о конструкции и оборудовании скважин, вскрытии и перекрытии продуктивного пласта, подготовки исходных данных для геолого-гидродинамического моделирования в форматах Eclipse, Pipesim [3] и tNavigator [5]. Модуль «Профиль скважины» используется для построения схем проекций вертикально, наклонно или горизонтально направленного ствола скважины на вертикальную и горизонтальную плоскости с учетом инклинометрии. Функционал модуля обеспечивает качество контроля изменений и верификации данных о конструкции, оборудовании, вскрытии и перекрытии продуктивного пласта для скважин с одним или несколькими стволами.

- АИС «Промысел» и АИС «Техрежим» для предварительной подготовки данных (геолого-промысловых данных месторождений нефти и газа – геолого-технических отчетов по

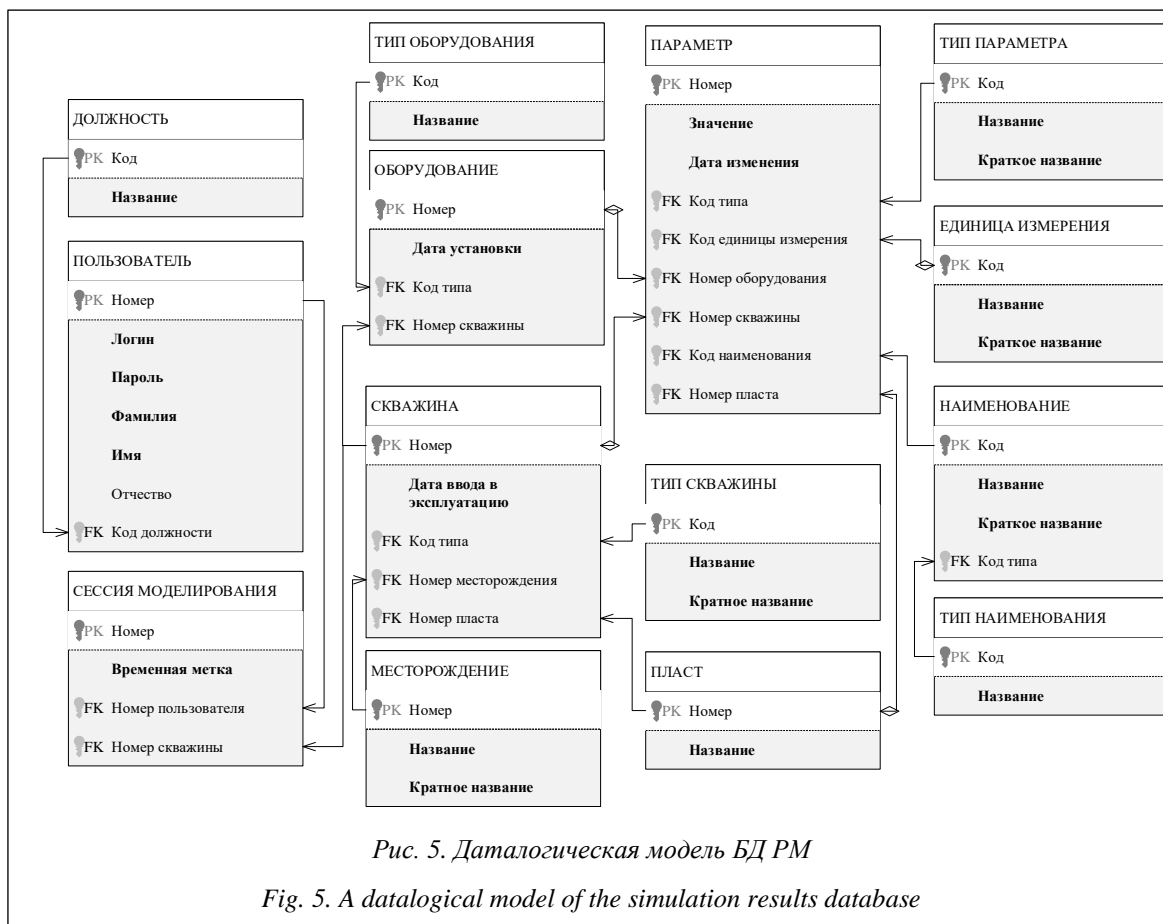


Рис. 5. Даталогическая модель БД РМ

Fig. 5. A datalogical model of the simulation results database

работе скважин и движению их по фонду, технологический режим работы скважин, геофизические и гидродинамические исследования скважин, исследования на продуктивность, подземный ремонт скважин).

Для ведения и анализа данных первичных результатов геолого-промысловых исследований разработано ПО GPI. Оно позволяет работать с результатами исследований объектов добычи газа в статике и динамике (распределение температуры, давления и плотности флюида по стволу скважины, уровень жидкости), представлять в виде графиков динамику изменения устьевых и забойных параметров скважины, проводить расчеты забойного давления сухих и обводненных газовых скважин с учетом их геотехнических особенностей.

Разработан удобный интерфейс для ведения и верификации данных газогидродинамических исследований – замеров давления, температуры, плотности флюида по стволу скважины (<http://www.swsys.ru/uploaded/image/2023-2/2023-2-dop/22.jpg>).

На основе методов объектно-ориентированного программирования и методического обеспечения [12] разработана система моделирования

живучести для проведения узлового и системного анализа, определения потерь давления и получения характеристик работы скважин, подбора диаметра труб, моделирования СОЖ (рис. 1) на скважинах, проверки и прогноза параметров технологических режимов работы скважин, расчета таблиц потерь давления в трубах, расчета показателей живучести.

В основе системы моделирования СОЖ используются классы объектов. Иерархия основных классов построена в формате UML (<http://www.swsys.ru/uploaded/image/2023-2/2023-2-dop/23.jpg>).

Разработанные классы объектов предназначены для работы с компонентами флюида, продуктивным пластом, скважиной, скважинным оборудованием и позволяют реализовать ПО для моделирования СОЖ.

Перед моделированием заполняются поля разделов «Общие» и «Флюид» (вводятся исходные данные о составе и свойствах добываемой продукции), определяются параметры моделирования и притока флюида к забою скважины, оборудование скважины и его характеристики. Реализованы проверка корректности вводимых данных, ввод и вывод данных

в различных единицах измерения физических величин. В блоке настройки параметров моделирования существует возможность задать точность итерационного метода вычисления (<http://www.swsys.ru/uploaded/image/2023-2/2023-2-dop/24.jpg>).

Схема в левой части рабочего окна отражает компоновку скважины с СОЖ. Для моделирования СОЖ в блоке «Оборудование» выбирается вкладка с соответствующим названием СОЖ и выбираются из БД СОЖ или вводятся вручную все исходные данные. Далее осуществляется моделирование. После проведения расчетов разделы «Оборудование» и «Системный анализ» становятся активными и содержат результаты моделирования с предлагаемыми вариантами СОЖ.

В результате прогностического моделирования рассчитывается коэффициент живучести объектов добычи газа. Система моделирования позволит заменить дорогостоящие натурные испытания и поможет повысить эффективность принятия управленческих решений по повышению живучести за счет применения СОЖ.

Заключение

Предложена структура АСНИ живучести объектов добычи газа, основой которой является комплекс прогностических моделей технологических процессов добычи продукции из обводненных газовых скважин с помощью СОЖ.

Одним из основных компонентов автоматизированной системы является информационное и программное обеспечение. Проведенный анализ симуляторов для моделирования работы скважин показал, что существующие системы в основном зарубежные. Они предназначены для подбора оборудования механизированной добычи продукции нефтяных скважин, для расчета движения продукции по однорядному лифту (насосно-компрессорным трубам или затрубному пространству) и не дают возможность оценить живучесть объектов добычи газа.

Разработано новое информационное и программное обеспечение АСНИ. Система реализует подготовку, обработку, верификацию, хранение и анализ данных об объектах добычи газа на основе интеграции существующих и вновь созданных информационно-программных подсистем. Представленная АСНИ позволит выполнять прогностическое моделирование реальных условий эксплуатации скважин, формировать варианты и помогать исследователю принимать решения по повышению живучести объектов добычи газа в условиях обводнения за счет применения различных технологий борьбы с обводнением.

В качестве направления дальнейших исследований предлагается разработка методического обеспечения, предназначенного для оценки эффективности созданной АСНИ, а также технического и организационно-правового обеспечения системы.

Список литературы

1. Недосекин А.О., Виноградов В.В., Абдулаева З.И. Методы и модели оценки функциональной живучести структурно-сложных технических систем. СПб: Политех-Пресс, 2018. 127 с.
2. Oktavia T., Richard S., Wongso A. Asset management system for computer laboratory. JATIT, 2015, vol. 75, pp. 103–108.
3. Schlumberger. Платформы и прикладное программное обеспечение. URL: <https://software.slb.ru/products/> (дата обращения: 30.12.2022).
4. Petroleum Experts. PROSPER. URL: <https://www.petex.com/products/ipm-suite/prosper/> (дата обращения: 30.12.2022).
5. RFD. Моделирование скважин. URL: <https://rfdyn.ru/integrated-modeling/modelirovanie-skvazhin/> (дата обращения: 30.12.2022).
6. ЦОНИК. Автотехнолог. О программе. URL: <https://autotechnologist.com/o-programme> (дата обращения: 30.12.2022).
7. Файзрахманов Р.А., Липатов И.Н. Автоматизация научных исследований. Пермь, 2020. 162 с.
8. Филиппов Е.В., Чумаков Г.Н., Пономарева И.Н., Мартышев Д.А. Применение интегрированного моделирования в нефтегазовой отрасли // Недропользование. 2020. Т. 20. № 4. С. 386–400. doi: 10.15593/2712-8008/2020.4.7.
9. Халкечев Р.К. Разработка архитектуры автоматизированной системы научных исследований физических процессов горного производства // ГИАБ. 2015. № 7. С. 317–323.
10. Халкечев Р.К., Халкечев К.В. Каркасный подход к разработке автоматизированных систем научных исследований в горной промышленности на основе методов определения механических и тепловых свойств геоматериалов // ГИАБ. 2017. № 10. С. 106–112. doi: 10.25018/0236-1493-2017-10-0-106-112.

11. Валеев А.Ф. Автоматизированная система научных исследований для повышения живучести системы добычи газа в условиях обводнения скважин // Нефть и газ: Междунар. форум. 2022. С. 248–257. URL: https://neftegaz.gubkin.ru/site/assets/files/4498/15akt_sbornik_trudov.pdf (дата обращения: 30.12.2022).

12. Соловьев Н.А., Валеев А.Ф. Развитие модели живучести системы добычи газа в условиях обводнения скважин // Докл. ТУСУР. 2022. Т. 25. № 1. С. 93–100. doi: 10.21293/1818-0442-2021-25-1-93-100.

Software & Systems

doi: 10.15827/0236-235X.142.263-271

2023, vol. 36, no. 2, pp. 263–271

Information and software support for the automated system of scientific research on the survivability of gas production facilities

Artem F. Valeev

For citation

Valeev, A.F. (2023) 'Information and software support for the automated system of scientific research on the survivability of gas production facilities', *Software & Systems*, 36(2), pp. 263–271 (in Russ.). doi: 10.15827/0236-235X.142.263-271

Article info

Received: 28.09.2022

After revision: 09.01.2023

Accepted: 31.01.2023

Abstract. The article is devoted to the automation of information processes of scientific research on the survivability of gas production facilities under the conditions of well flooding. The author proposes the structure of an automated system for scientific research of the survivability of gas production facilities, which includes a mathematical apparatus for modeling reservoir-well objects, watering processes and survival aids – various technologies for combating watering. The existing application software on the market for performing hydrodynamic modeling or hydraulic calculations does not allow studying the survivability of gas production objects. Therefore, a newly developed information and software for an automated system of scientific research that will allow assessing the survivability of gas production facilities under conditions of flooding, as well as helping a specialist to make decisions to improve it using technologies to combat flooding in wells. The automated system components are based on system analysis, the theory of hydraulics and oil and gas mechanics, object-oriented programming methods, statistical analysis, graph theory, modeling theory, control theory, nodal analysis method, etc. As a result of predictive modeling, the coefficient of survivability of gas production facilities is calculated taking into account the properties of efficiency, resource intensity when using means of ensuring survivability. Based on the given criterion, the system software offers the best technology to combat the watering of a gas production facility.

Keywords: automated system of scientific research, information and software, gas production, watering, survivability

Reference List

1. Nedosekin, A.O., Vinogradov, V.V., Abdulaeva, Z.I. (2018) *Methods and Models for Assessing the Functional Survivability of Structurally Complex Technical Systems*, St. Petersburg, 127 p. (in Russ.).
2. Oktavia, T., Richard, S., Wongso, A. (2015) 'Asset management system for computer laboratory', *JATIT*, 75, pp. 103–108.
3. Schlumberger. *Platforms and Application Software*, available at: <https://software.slb.ru/products/> (accessed December 30, 2022) (in Russ.).
4. *Petroleum Experts. PROSPER*, available at: <https://www.petex.com/products/ipm-suite/prosper/> (accessed December 30, 2022).
5. *RFD. Well Modeling*, available at: <https://rfdyn.ru/integrated-modeling/modelirovanie-skvazhin/> (accessed December 30, 2022) (in Russ.).
6. *COCC. Autotechnologist. About the Program*, available at: <https://autotechnologist.com/o-programme> (accessed December 30, 2022) (in Russ.).
7. Fayzrakhmanov, R.A., Lipatov, I.N. (2020) *Automation of Scientific Research*, Perm, 162 p. (in Russ.).

8. Filippov, E.V., Chumakov, G.N., Ponomareva, I.N., Martyushev, D.A. (2020) 'Application of integrated modeling in the oil and gas industry', *Perm J. of Petroleum and Mining Engineering*, 20(4), pp. 386–400. doi: 10.15593/2712-8008/2020.4.7 (in Russ.).
9. Khalkechev, R.K. (2015) 'Architecture development of the scientific researches automated system of mining physical processes', *MIAB*, (7), pp. 317–323 (in Russ.).
10. Khalkechev, R.K., Khalkechev, K.V. (2017) 'Frame-based approach to automated research system design in mining industry using method for the determination of mechanical and thermal properties of geomaterials', *MIAB*, (10), pp. 106–112. doi: 10.25018/0236-1493-2017-10-0-106-112 (in Russ.).
11. Valeev, A.F. (2022) 'Automated system of scientific research to improve the survivability of the gas production system in conditions of well flooding', *Proc. XV Sci. and Tech. Conf. Actual Problems of the Development of the Oil and Gas Complex*, pp. 248–257, available at: https://neftegaz.gubkin.ru/site/assets/files/4498/15akt_sbornik_trudov.pdf (accessed December 30, 2022) (in Russ.).
12. Solovyov, N.A., Valeev, A.F. (2022) 'Development of gas production system survivability model in the conditions of well flooding', *Proc. TUSUR*, (1), pp. 93–100. doi: 10.21293/1818-0442-2021-25-1-93-100 (in Russ.).

Авторы

Валеев Артем Фаатович¹,
к.т.н., начальник отдела
Инженерно-технического центра,
vafw@yandex.ru

¹ Компания «Газпром добыча Оренбург»,
г. Оренбург, 460058, Россия

Authors

Artem F. Valeev¹, Ph.D. (Engineering),
Head of Geological and Hydrodynamic Simulation
Department of Field Development and Exploration
Services in the Engineering Center, vafw@yandex.ru

¹ Gazprom Dobycha Orenburg Company,
Orenburg, 460058, Russian Federation