ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

REVIEW OF MODERN APPLICATION SOFTWARE PRODUCTS AND AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS IN THE DESIGN, CONSTRUCTION AND OPERATION OF OIL AND GAS INDUSTRY FACILITIES

А. Н. Якшибаев
Aidar N. Yakshibaev

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

В данной статье освещены общие вопросы цифровизации нефтегазового производства – применение современных программных комплексов и автоматизированных систем проектирования в нефтегазовой отрасли промышленности. Представлены общая характеристика информационно-коммуникационных технологий, определения, приведены примеры программных комплексов, собраны обзорные данные, технические особенности различных программных продуктов, используемых в настоящее время. Рассмотрено их применение в основных технологических процессах и решении актуальных задач на различных этапах производства, определено влияние на технико-экономические показатели — снижение временных и материальных затрат, уменьшение значения человеческого фактора. На примере современного комплекса STAR-CCM+, применяемого для решения задач механики сплошных сред, приведено описание CFD-моделирования, технологии построения расчетных сеток, возможность построения объёмных сеток, включающих инновационные многогранные сетки, проиллюстрированы возможности инструментов визуализации. На основе общей оценки полномасштабного использования и предоставляемых полезных функций современных информационно-коммуникационных средств сформулированы выводы, установлены перспективные направления для дальнейшего исследования и усовершенствования современных программных комплексов, автоматизированных систем проектирования в области их оптимизации с целью повышения производительности, снижения трудоемкости, усовершенствования процесса проектирования, улучшения качества получаемых результатов, возможности расширения масштабов использования в различных областях промышленности.

This article highlights the general issues of digitalization of oil and gas production – the use of modern software systems and computer-aided design systems in the oil and gas industry. The general characteristics of information and communication technologies, definitions are presented, examples of software systems are given, overview data, technical features of various software products currently used are collected. Their application in the basic technological processes and solving urgent problems at various stages of production is considered, the effect on technical

Ключевые слова

программный комплекс;
информационно-коммуникационные технологии;
автоматизированные системы проектирования; моделирование; средства визуализации; оптимизация

Key words

software complex;
information and communication technologies;
computer-aided design systems; modeling; visualization tools; optimization

and economic indicators is determined – reduction of time and material costs, reduction of the human factor. On the example of the modern STAR-CCM+ complex used to solve the problems of continuum mechanics, a description of CFD modeling, technology for constructing computational grids, the possibility of constructing voluminous grids including innovative multifaceted grids, the capabilities of visualization tools are illustrated. Based on a general assessment of the full-scale use and useful features of modern information and communication tools, conclusions are formulated, promising directions for further research and improvement of modern software systems, computer-aided design systems in the field of their optimization in order to increase productivity, reduce labor intensity, improve the design process, improve the quality of the results, the possibility of expanding use in various industries.

В настоящее время в связи с ростом темпа производства работ в области проектирования, строительства и эксплуатации объектов нефтегазовой промышленности, скоростью развития информационно-коммуникационных технологий актуален вопрос расширения применения современных программных комплексов и автоматизированных систем управления. Использование инновационных информационных технологий, позволяющих существенно улучшить технико-экономические показатели, обосновано снижением стоимости и ускорением процесса производства. В условиях глобальной конкуренции задача цифровой трансформации предприятий, отраслей и государства в целом приобретает особую актуальность [1].

На сегодняшний день в области нефтегазовой промышленности существует множество программ для моделирования в областях промышленной геофизики, геологии, бурения, разработки, переработки и т.д. В каждой из этих областей для моделирования существует несколько видов программ [2].

Современные информационные технологии все активнее внедряются в нефтегазовой промышленности – без них уже не представляется возможным оперативное управление объектами на всех стадиях жизненного цикла: проектирования, строительства, эксплуатации (рисунок 1) [3].

Система автоматизированного проектирования — это совокупность программного комплекса и информационно-коммуникационного устройства, использующая цифровой метод выполнения задач и функций проектирования, представляющая собой упорядоченную систему, предназначенную для выполнения автоматизации процесса проектирования, включающую комплекс программных устройств автоматизации.

Рисунок 1. Примеры современных программных комплексов, используемых в проектировании, строительстве и эксплуатации объектов нефтегазовой промышленности

Широкий спектр возможных вариаций программных комплексов, перестроение под использование в решении различных задач обуславливают то, что применение систем автоматизированного проектирования имеет высокую долю во многих отраслях нефтегазового производства.

Современные программные комплексы трехмерного моделирования (симуляторы) совмещают в себе математический аппарат для расчета уравнений фильтрации и полнофункциональный механизм визуализации геологических данных [4].

Цифровое 3D моделирование технологических объектов открывает следующие возможности:

- осуществлять полную диагностику технологических объектов и производить контроль во всех стадиях разработки и функционирования объекта: при конструировании, строительстве, капитальном ремонте, а также эксплуатации;

- облегчить процедуру осуществления технадзора эксплуатирующей организацией и авторского надзора проектирующей организацией;

- увеличить производительность и повысить качество строительно-монтажных работ ввиду наибольшей наглядности и информативности 3D модели по сравнению с двумер-

ными чертежами, в которой каждая составная часть того или иного объекта имеет собственные координаты и имеет определенное закрепление в общей расчетной конструкторской сетке;

— ускорять процесс принятия сложных технических решений в вопросах управления проектом;

— повысить уровень диагностики подсистем объекта, технологических систем и общего технического обслуживания;

— производить быструю оценку текущего технического состояния объектов;

— пользоваться современными и наиболее точными методами конструирования для реализации проектирования разного рода информационно-коммуникационных систем в процессе эксплуатации технологического объекта.

Помимо решения задач проектирования, создания виртуальных трехмерных моделей, обработки полученных данных, не менее важной является работа с исполнительной и проектной документацией. Наряду с программными комплексами, используемыми для выполнения различных расчетов, в нефтегазовой

промышленности применяются программы для подготовки, редактирования, и обработки проектной документации.

1 Программный комплекс трехмерной визуализации P3DB/Navigator

Для интеграции 3D моделей, созданных в различных системах автоматизированного проектирования, и их визуализации используется информационная система P3DB/Navigator [5]. Данный программный комплекс удобен для интерактивного отслеживания проектов и просмотра 3D моделей промышленных технологических объектов в процессе конструирования, монтажа и эксплуатации. Достаточно простой в использовании интерфейс программы позволяет осуществлять работу со многими CAD продуктами при минимальных знаниях интерфейса других комплексов моделирования. P3DB/Navigator имеет возможность объединения информации об объекте из разных источников и остальных систем компьютерного проектирования в одной модели, что помогает, в свою очередь, направлять заказчикам только необходимую графическую часть в запрашиваемом формате (рисунок 2).

Рисунок 2. Интерфейс программного комплекса P3DB/Navigator

2 Программный комплекс STAR-CCM+

Одним из современных программных продуктов, применяемых при проектировании объектов систем транспорта углеводородов в нефтегазовой отрасли, является STAR-CCM+ – программный комплекс последнего поколения, который может осуществлять расчет разноплановых задач механики сплошных сред, таких как: гидрогазодинамика, расчет реагирующих потоков, термодинамика, расчет механической нагрузки. Комплекс STAR-CCM+ позволяет провести все этапы моделирования задачи в одной интегрированной программной среде [3]. Этот уникальный подход отличается простотой использования и автоматизацией подготовки CAD (Computer Aided Design) и CFD (Computational Fluid Dynamics) — моделей, сетки, что позволяет проектировщикам добиваться лучших результатов быстрее и качественнее. В последней версии STAR-CCM+ реализованы следующие возможности: новые мощные средства построения сеток; широкий набор физических моделей; применение произвольных многогранных ячеек; мощные инструменты визуализации; надежные результаты; совместимость моделей с существующими программными комплексами: STAR-CD, FLOWVISION, GridGen [6].

CFD моделирование может быть использовано как для решения вопросов, связанных с гидродинамикой потока, так и для создания моделей химических реакций и термодинамических эффектов, и, осуществляемых в потоке. Основными достоинствами данного метода научного поиска являются получение наглядного представления о характере протекающих процессов в исследуемом объекте и исследование его различных конструкций без создания дорогостоящих экспериментальных установок. А также оптимизация принципов функционирования с целью получения заданных параметров работы устройств [7].

Термодинамические эффекты состоят из теплообмена жидкости с поверхностями различных твердых тел, теплопередачи в пределах одного или нескольких потоков. Таким образом, существует возможность моделирования решения данных задач совместного теплообмена между жидкой фазой и твердым телом. Также в данном программном комплексе имеется возможность учесть и просчитать теплоемкость, излучающий характер

передачи тепла и конвективный характер теплообмена.

Методы решения поставленных задач посредством CFD могут использоваться и для моделирования движения химических элементов в перемещающемся потоке. Также существует возможность учитывать химические реакции, где принимают участие используемые химические добавки. При этом также имеется возможность осуществлять комплексное моделирование гидродинамических процессов, в частности, с теплопереносом, в процессе сгорания различных материалов.

Основным уравнением гидродинамики, используемым при решении данных задач, является уравнение Навье-Стокса.

Для улучшения и приближения к реальности эти уравнения могут быть дополнены еще рядом уравнений.

Основной объем моделируемых с использованием CFD инструментов явлений может описываться нелинейными уравнениями в частных производных.

Имеется несколько вариантов численных методов, которые используются при решении данных задач: метод конечных элементов, спектральный метод, метод конечного объема, метод конечных разностей.

Программный код комплекса STAR-CCM+ дает возможность с лёгкостью автоматизировать каждый этап вычислительного процесса, обеспечивая возможность повторения процесса и стабильность полученных результатов. Пользователь имеет возможность сохранять и воспроизводить оптимальные решения, а также фиксировать настройки расчёта в виде шаблонных файлов. Разнообразие применяемых физических моделей и решателей позволяет пользователю по своему усмотрению комбинировать эти модели и вычислительные процедуры для описания и решения той задачи, которая перед ним стоит. При этом пользователю не требуется заниматься написанием собственного программного кода, хотя возможность конструирования собственных функций и исполняемых модулей ему предоставляется [8].

STAR-CCM+ использует мощь Java, чтобы предоставить своим пользователям глобальный контроль над возможностями программы. Этот язык написания скриптов позволяет выполнить автоматизацию процесса настройки различных параметров, создание геометрии, построение сеток, запуск расчёта и пост-

процессинг, а также фиксировать свои собственные пользовательские панели и приложения.

Вспомогательный комплекс моделирования Simulation Assistant является идеальным инструментом для выполнения моделирования новыми или начинающими проектировщи-

ками, а также для многократного воспроизведения случаев с оптимальным решением. Инструмент позволяет применять специально разработанный пошаговый подход, сопровождая проектировщика на всех этапах создания модели, обеспечивая получение высококачественных стабильных результатов (рисунок 3).

Рисунок 3. Пример визуализации результатов

3 Высокопроизводительные вычисления. Эффективное использование всех вычислительных и информационных ресурсов

Независимо от применяемых вычислительных инструментов, программный комплекс STAR-CCM+ обеспечивает качественное использование всех вычислительных ресурсов на всех этапах процесса моделирования, начиная с создания сеток и заканчивая пост-процессингом.

Традиционный способ последовательного построения объёмных сеток не в полной мере является применимым для обычных вычислительных кластеров, так как для генерации необходим один узел с большим объёмом памяти. STAR-CCM+ имеет уникальную технологию параллельного построения сеток, позволяющую использовать всю мощь ресурсов вычислительных кластеров для создания сеток. Технология применяется для создания многогранных и усечённых сеток, обеспечивая гораздо более эффективное использование кластерного оборудования и непрерывность всех процессов моделирования, от построения сеток и до решения.

С ростом объёмов моделирования увеличивается фактический размер файлов моделирования. Чтобы работа с файлами не была тяжелой для информационно-коммуникационного оборудования, STAR-CCM+ предполагает использование параллельных файловых систем, минимизирующих время считывания и записи файлов. Скорость выполнения параллельного канала ввода/вывода (I/O — Input-Output) выше последовательного в несколько раз. STAR-CCM+ поддерживает параллельные файловые системы PanFS, Lustre и GPFS.

Время, требуемое в STAR-CCM+ на решение, имеет важное значение для пользователей, и, соответственно, каждая обновленная версия кода проходит проверку на HPC системах. Команда разработчиков постоянно работает над разработкой новых возможностей и усовершенствований, повышающих скорость расчета. Постоянный процесс оптимизации обеспечивает оптимальную работу и облегчает выполнение задач STAR-CCM+ на самых современных вычислительных системах.

4 Технология построения сеток в STAR-CCM+

Одним из важнейших этапов при численном моделировании движения жидкости или газа является построение расчетной сетки [9]. STAR-CCM+ применяет специальную пошаговую методику, обеспечивающую лёгкую и надёжную автоматизацию всех процессов, от задания геометрических параметров до построения сеток. Каждый элемент в процессе создания расчетной сетки может быть выполнен в последовательности, или самостоятельно, с общим набором параметров заданных пользователем. Автоматизация процесса создания сетки может быть осуществлена в интерактивном и пакетном режиме или дистанционно.

STAR-CCM+ дает пользователям большой выбор и гибкость при подготовке поверхностей для расчетной сетки. Широкий набор операций доступен для подготовки поверхности, включая: диагностику, добавление или удаление из тела различных элементов, топологическую идентификацию, возможность уменьшения модели.

Инновационная технология восстановления целостности поверхности STAR-CCM+ позволила проектировщикам сокращать время подготовки поверхности на несколько порядков. Если ранее генерация поверхностной сетки высокого качества занимала несколько недель, то со STAR-CCM+ это занимает считанные минуты.

STAR-CCM+ предлагает обширный ряд технологий построения объёмных сеток, включающие инновационные многогранные сетки и усечённые шестигранные сетки. Для задач с несколькими расчётными областями, например сопряжённый теплообмен и взаимодействие твёрдого тела с жидкостью, есть возможность автоматического создания полностью согласованных сеток. Надёжная генерация всех слоёв обеспечивает точный захват пограничных слоёв. Также возможно использовать ряд специализированных сеток, включающих в себя генерирование призматических элементов для тонкостенных объектов, создание обобщённых цилиндрических и призматических сеток и граничную экструзию (рисунок 4).

Рисунок 4. Построение сеток в STAR-CCM+

Выводы

На основе обзора программных комплексов можно сделать вывод, что использование программных комплексов является одним из важных аспектов в существующих отраслях промышленности. Применение современных информационных технологий позволяет обеспечить высокое качество полученных расчетных результатов, упростить процесс проектирования, снизить влияние человеческого фак-

тора на этапе эксплуатации, улучшить технико-экономические показатели в целом.

По итогу обзора определены методы, направленные на оптимизацию работы программных комплексов и информационного оборудования. Наиболее оптимальными методами являются создание и выпуск специально спроектированных моделей технологических процессов, внедренных в код программного продукта. Данные методы позволяют снизить

нагрузку на оборудование информационно-коммуникационных устройств, упростить и ускорить работу по принятию важных технических решений. Одним из инструментариев является использование специально разработанной модели турбулентного теплопереноса LMS (Liquid Metal Sodium), которая реализована в CFD ПК FlowVision. Также достаточно важными являются метод оптимизации работы программных комплексов, реализую-

щийся путем разработки новых и упрощения уже имеющихся расчетных алгоритмов, установленных в коде программного продукта, использование наиболее выгодных комбинаций вычислительных устройств, использование передовых технологий в разработке информационно-коммуникационных устройств, которые применяются в широком диапазоне в программном комплексе STAR-CCM+.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Линник Ю.Н., Кирюхин М.А. Цифровые технологии в нефтегазовом комплексе // Вестник университета. 2019. № 7. С. 37–40.
2. Солиев Н.Н. Единый программный комплекс для моделирования в нефтегазовой промышленности // Академический журнал Западной Сибири. 2015. Т. 11. № 2 (57). С. 52–53.
3. Исаков И.М. Опыт применения современных инструментов сопровождения процессов проектирования, строительства и эксплуатации объектов нефтяной и газовой промышленности // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2011. № 8. С. 24–28.
4. Нургатин Р.И., Лысов Б.А. Применение 3d моделирования в нефтегазовой отрасли // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2014. № 1 (44). С. 66–73.
5. Бородин Н.К. Применение современных информационных технологий в процессе анализа рисков профилей нефтегазовой промышленности // Социальные науки. 2015. № 4 (7). С. 3–7.
6. Лукьянова И.Э., Якшибаев А.Н., Якшибаев И.Н. Применение программного комплекса STAR-CCM+ в проектировании объектов систем трубопроводного транспорта // Трубопроводный транспорт — 2019: тез. докл. XIV Междунар. учеб.-науч.-практ. конф. // Уфа, 2019.
7. Пашченко Д.И., Наплеков И.С. CFD-моделирование характеристик парового эжектора для разогрева нефти и нефтепродуктов в ANSYS // Экспозиция Нефть Газ. 2018. № 2 (62). С. 54–56.
8. Серебряник П.С., Жмуркин С.М., Епишин И.Г. Опыт применения программного инструментария STAR CCM+ при проектировании технологического оборудования для опасного химического производства // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2009. Т. 1. С. 240–242.
9. Карасев П.И., Шишаева А.С., Аксенов А.А. Качественное построение расчетной сетки для решения задач аэродинамики в программном комплексе FLOWVISION // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2012. № 47 (306). С. 46–58.

REFERENCES

1. Linnik Y.N., Kiryuhhin M.A. Tsifrovye tekhnologii v neftegazovom komplekse [Digital Technologies in the Oil

and Gas Industry]. *Vestnik universiteta — University Bulletin*, 2019, No. 7, pp. 37–40. [in Russian].

2. Soliev N.N. Edinyj programmnyj kompleks dlya modelirovaniya v neftegazovoy promyshlennosti [Unified Software Package for Modeling in the Oil and Gas Industry]. *Akademicheskij zhurnal Zapadnoy Sibiri — Academic Journal of Western Siberia*, 2015, Vol. 11, No. 2 (57), pp. 52–53. [in Russian].

3. Isakov I.M. Opyt primeneniya sovremennykh instrumentov soprovozhdeniya protsessov proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii ob'ektov neftyanoy i gazovoy promyshlennosti [Experience in Using Modern Tools to Support the Design, Construction and Operation of Oil and Gas Industry Facilities]. *Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz' v neftyanoy promyshlennosti — Automation, Telemechanization and Communication in the Oil Industry*, 2011, No. 8, pp. 24–28 [in Russian].

4. Nurgatin R.I., Lysov B.A. Primenenie 3d modelirovaniya v neftegazovoy otrasli [Application of 3d Modeling in the Oil and Gas Industry]. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya RAYEN. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdeniy — News of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Geology, Search and Exploration of Ore Deposits*, 2014, No. 1 (44), pp. 66–73. [in Russian].

5. Borodina N.K. Primenenie sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy v protsesse analiza riskovogo profilya neftegazovoy promyshlennosti [Application of Modern Information Technologies in the Process of Analyzing the Risk Profile of the Oil and Gas Industry]. *Sotsial'nyye nauki — Social Sciences*, 2015, No. 4 (7), pp. 3–7. [in Russian].

6. Lukyanova I.E., Yakshibaev A.N., Yakshibaev I.N. Primenenie programmnoy kompleksa STAR-CCM+ v proektirovanii ob'ektov sistem truboprovodnogo transporta [Application of the STAR-CCM+ Software Package in Design Objects of Pipeline Transport Systems]. *Tezisy dokladov XIV Mezhdunarodnoy uchebno-nauchno-prakticheskoy konferentsii «Truboprovodnyy transport — 2019»* [Proceedings of XIV International Educational, Scientific and Practical Conference «Pipeline Transport — 2019»]. Ufa, 2019. [in Russian].

7. Pashchenko D.I., Naplekov I.S. CFD-modelirovanie kharakteristik parovogo ezhektora dlya razogreva nefiti i nefteproduktov v ANSYS [CFD-Simulation of Steam Ejector Characteristics for Heating Oil and Oil Products in ANSYS]. *Ekspozitsiya Neft' Gaz — Exhibition Oil and Gas*, 2018, No. 2 (62), pp. 54–56. [in Russian].

8. Serebryanik P.S., Zhmurkin S.M., Epishin I.G. Opyt primeneniya programmnoy instrumentariya STAR CCM+ pri proektirovanii tekhnologicheskogo oborudovaniya dlya

опасного химического производства [Experience in Using STAR CCM+ Software Tools in Designing Process Equipment for Hazardous Chemical Production]. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo»* [Proceedings of the International Symposium «Reliability and Quality»]. 2009, Vol. 1, pp. 240–242. [in Russian].

9. Karasev P.I., Shishaeva A.S., Aksenov A.A. Kachestvennoe postroenie raschetnoj setki dlya resheniya zadach aerodinamiki v programmnom komplekse FLOW-

VISION [Qualitative Construction of the Computational Grid for Solving Aerodynamics Problems in the FLOW-VISION Software Package]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Vychislitel'naya matematika i informatika — Bulletin of the South Ural State University. Series: Computational Mathematics and Computer Science*, 2012, No. 47 (306), pp. 46–58. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ABOUT THE AUTHOR

Якшибаев Айдар Наилевич, магистрант кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Aidar N. Yakshibaev, Undergraduate Student of Process Machinery and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: aidarftt@gmail.com