

ПОСТРОЕНИЕ ГИБРИДНЫХ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ОБЪЕКТОВ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ И ГАЗА НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ

И.С. Петухов, к.т.н., IBS (Москва, Россия)

К.С. Китова, к.ф-м.н., IBS

А.С. Никулин, ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (Москва, Россия)

В связи с уходом с российского рынка ряда крупных иностранных вендоров и производителей оборудования, создание цифровых двойников теперь возможно только на отечественных или открытых решениях. Остается вопрос, покрывает ли их функционал потребности производителей, или придется разрабатывать новые. Можно ли создать санкционно-устойчивый цифровой двойник на основе открытых программных продуктов без каких-либо допущений и упрощений, свойственных классическим подходам, знают эксперты группы Data Science компании IBS.

Исторически моделирование объектов подготовки нефти и газа на ключевых этапах жизненного цикла – от перспективного развития и проектирования до эксплуатации – выполняется в России при помощи симулятора HYSYS компании AspenTech (более 60 % рынка) и его аналога UniSim от компании Honeywell. Другие продукты, такие как Petro-SIM от Yokogawa, Symmetry от Schlumberger, а также открытый программный продукт DWSIM из Бразилии и российские GIBBS, AEROSYM, занимают незначительную долю рынка.

Цифровые двойники – ИТ-системы, оптимизирующие производственные процессы установок в реальном времени на основе реальных эксплуатационных данных – на объектах добычи нефти и газа чаще всего создаются именно на основе HYSYS (рис. 1). Во многом это связано с широкими функциональными возможностями решения, отвечающими запросам рынка:

- широкий набор поддерживаемого оборудования (табл. 1);
- продвинутая термодинамика (Пенга – Робинсона, аминовый пакет, NRTL, Black Oil, задание лабо-

раторных данных через псевдокомпоненты);

- поддержка моделей машинного обучения (ML-моделей);
- поддержка программных интерфейсов для моделирования (API).

Последние два пункта особенно важны для компаний, создающих гибридные цифровые двойники на таких нефтегазовых объектах, как установки комплексной подготовки газа, установки подготовки попутного нефтяного газа, установки подготовки нефти, дожимные компрессорные станции, нефтеперекачивающие станции,

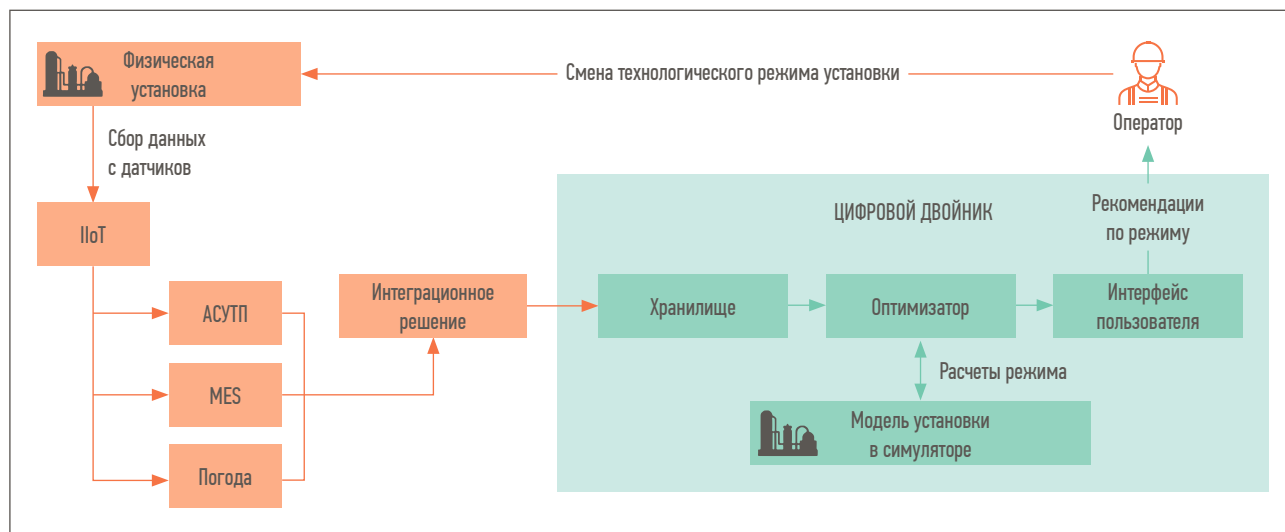


Рис. 1. Концептуальная схема цифрового двойника

газоперерабатывающие заводы и объекты по производству сжиженного природного газа.

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

На многих объектах добычи в российских нефтегазовых компаниях необходимы виртуальные расходомеры на основе ML-моделей и интеллектуальная обработка данных с датчиков методами Data Science. Автоматизированная загрузка эксплуатационных данных в модели в реальном времени и периодическое выполнение оптимизационных расчетов требуют наличия программного интерфейса. Таким образом, актуальные задачи бизнеса на объектах добычи нефти и газа – повышение операционной эффективности, надежности и качества продукции – исторически решаются компаниями-интеграторами на базе коммерческого программного обеспечения.

СРАВНЕНИЕ РОССИЙСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ И ОТКРЫТЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ

В связи с уходом западных продуктов с российского рынка, создание цифровых двойников возможно только на отечественных или открытых решениях. На основе экспертизы компании IBS был проведен сравнительный анализ их возможностей (табл. 1 и рис. 2). Ожидается, что HYSYS оказался наиболее функционально полным продуктом, но ряд задач технологического моделирования можно решать и без него.

Российское решение GIBBS обладает достаточно продвинутой термодинамикой и поддерживает аминовый пакет, но не имеет API, работает только под Windows и не поддерживает ML-модели. В связи с этим оно не подходит для создания цифровых двойников.

Второй российский продукт – AEROSYM – технологически более продвинут, чем GIBBS. Он кросс-платформенный, но еще довольно

Таблица 1. Поддерживаемое оборудование для моделирования

Группа	Оборудование	HYSYS	DWSIM	GIBBS	AEROSYM
Теплообменник	Кулер	+	+	+	+
	Нагреватель	+	+	+	+
	Кожухотрубчатый	+	+	+	+
	Аппарат воздушного охлаждения	+	-	+	+
	Пластинчатый	+	-	-	-
	Многопоточный	+	-	+	-
	Труба в трубе	-	+	-	-
	Fired heater	+	-	-	-
Трубы и арматура	Миксер	+	+	+	+
	Разделитель	+	+	+	+
	Труба	+	+	+	+
	Клапан	+	+	+	+
Динамическое оборудование	Насос	+	+	+	+
	Компрессор базовый	+	+	+	+
	Компрессор на компрессорных кривых	+	-	-	-
	Эжектор	-	-	+	+
	Детандер	+	+	+	+
Сепараторы и колонны	Двухфазный сепаратор	+	+	+	+
	Трехфазный сепаратор	+	+	+	-
	Резервуар	+	+	+	-
	Ректификационная колонна	+	+	+	-
	Абсорбер	+	+	+	-
	Отпарная колонна	+	+	+	-
	Вакуумная колонна	+	+	+	-
	Адсорбер	+	-	-	-
	Циклоны	+	-	-	-
Кристаллизатор	+	-	-	-	
Реакторы для нефтеперерабатывающих заводов и химической промышленности	Реактор Гиббса	+	+	-	-
	Конверсионный	+	+	-	-
	Реактор идеального вытеснения	+	+	-	-
	Нейтрализатор	+	-	-	-
	Каталитический риформинг	+	-	-	-
	Гидрокрекинг	+	-	-	-
	Каталитический крекинг	+	-	-	-
	Висбрекинг	+	-	-	-
	Установка получения серы	+	-	-	-
	Равновесный реактор	+	+	-	-

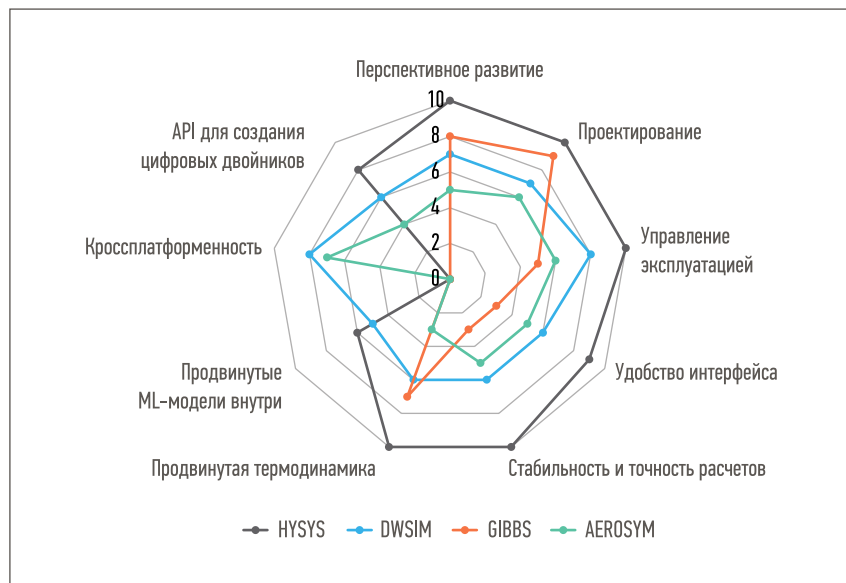


Рис. 2. Ключевые возможности симуляторов относительно HYSYS

ПРИМЕНЕНИЕ СУРРОГАТНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОЗВОЛЯЕТ ИНТЕГРИРОВАТЬ В СУЩЕСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ DWSIM НЕДОСТУПНОЕ НА ДАННЫЙ МОМЕНТ ОБОРУДОВАНИЕ, ВОСПОЛЬЗОВАВШИСЬ ЛЮБЫМИ СИМУЛЯТОРАМИ, А НЕ ТОЛЬКО HYSYS.

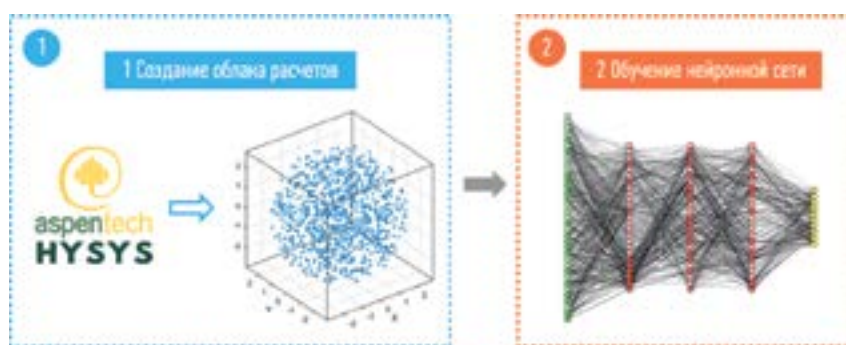


Рис. 3. Процесс создания суррогатной модели

молодой: поддерживает не все оборудование и только термодинамику Пенга – Робинсона, не имеет поддержки ML-моделей, поэтому также не подходит для цифровых двойников.

Открытый программный продукт DWSIM по ряду параметров тоже уступает HYSYS, а в части аминного пакета – GIBBS, но не так значительно. Для компании IBS наиболее важным его преимуществом является открытость, что дает возможность доработки компонентов под потребности заказчиков. Кроме того, кроссплатформенность DWSIM позволяет реализовать цифровые

двойники на российской операционной системе Astra Linux.

С точки зрения встроенных ML-моделей DWSIM незначительно уступает HYSYS, но его открытость позволяет обращаться к любым микросервисам для реализации ML-моделей (IBS реализует такие модели в открытой экосистеме Python и его библиотеках). К недостаткам DWSIM стоит отнести меньшую относительно HYSYS скорость, что компенсируется распараллеливанием расчетов, и стабильность сходимости расчетов, что требует аккуратности при реализации оптимизатора.

Несмотря на широкие возможности DWSIM, поддерживаемого в нем оборудования не всегда хватает для покрытия всех потребностей в моделировании. Например, сложно с достаточной точностью смоделировать протяженные трубопроводы, особенно с многофазным флюидом, или сложные реакторы. В этих случаях в технологические модели DWSIM могут внедряться суррогатные модели, основанные на машинном обучении.

СУРРОГАТНЫЕ МОДЕЛИ И ИХ ВОЗМОЖНОСТИ

Суррогатное моделирование – один из видов компьютерного моделирования, основная идея которого состоит в аппроксимации результата моделирования с точностью, необходимой для дальнейшего использования. В цифровых двойниках нефтегазовых производств – это упрощенная математическая модель технологической модели. Суррогатная модель представляет из себя черный ящик, где на вход подается вектор входных данных X , а на выходе – вектор выходных данных Y , т. е. сама модель не содержит решателя уравнений, а является набором математических функций.

Источником данных для суррогатного моделирования могут служить как эксплуатационные данные с конкретной «сложной» установкой, так и результаты, выдаваемые любой внешней технологической моделью, например HYSYS или UniSim, причем в этом случае возможно извлечение всей математики и из «закрытых» технологических моделей лицензиатов уникальных технологических процессов.

Во втором случае для суррогатного моделирования рассчитывают на технологической модели облако данных, а далее с помощью методов машинного обучения создают упрощенную математическую модель (рис. 3). В качестве математической модели могут использоваться линейная регрессия, искусственная нейронная сеть

(ИНС), поиск по методу k -ближних соседей и другие методы машинного обучения.

Применение суррогатных моделей позволяет интегрировать в существующие технологические модели DWSIM недоступное на данный момент оборудование, воспользовавшись любыми симуляторами, а не только HYSYS [1, 2]. Например, в DWSIM нет возможности рассчитывать колонное оборудование со спецификацией по температуре куба колонны, но в узкоспециализированном симуляторе колонн ChemSep данная возможность присутствует. В этом случае в ChemSep рассчитывается облако данных по заданным спецификациям колонны, затем

обучается ИНС на базе открытой библиотеки TensorFlow, а после обучения ИНС интегрируется в технологическую модель DWSIM через модуль Python-скриптов.

Этот подход помогает не только решить проблему недоступности сложного оборудования, но и на порядок увеличивает скорость моделирования при сохранении достаточной точности расчетов (один расчет с использованием нейросети занимает 0,1 с против 5–10 с в ChemSep). Такое ускорение расчетов особенно существенно при решении многокритериальных оптимизационных задач стохастическими методами [3, 4].

Рассмотренный гибридный подход позволяет снять ограничения

DWSIM, повысить точность и скорость моделирования и в итоге создать санкционно-устойчивый цифровой двойник без допущений и упрощений, свойственных подходам на основе только машинного обучения или физико-химического моделирования. ■

IBS

IBS

127018, Россия, г. Москва,
ул. Складочная, д. 3, стр. 1
Тел.: +7 (495) 967-80-80
E-mail: ibs@ibs.ru
www.ibs.ru

на правах рекламы

ЛИТЕРАТУРА

1. Savage T.R., Almeida-Trasvina F., Del-Rio Chanona A.E., et al. Surrogate Modelling and Optimization for Complex Liquefied Natural Gas Refrigeration Cycles // IFAC PapersOnLine. 2020. Vol. 53, No. 2. P. 11 193–11 198. DOI: 10.1016/J.IFACOL.2020.12.316.
2. Ibrahim D., Jobson M., Li J., Guillen-Gosalbez G. Optimal design of flexible heat-integrated crude oil distillation units using surrogate models // Chemical Engineering Research and Design. 2021. Vol. 165. P. 280–297. DOI: 10.1016/J.CHERD.2020.09.014.
3. Primabudi E., Morosuk T., Tsatsaronis G. Multi-objective optimization of propane pre-cooled mixed refrigerant (C3MR) LNG process // Energy. 2019. Vol. 185. P. 492–504. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2019.07.035.
4. Khan M.S., Karimi I.A., Wood D.A. Retrospective and future perspective of natural gas liquefaction and optimization technologies contributing to efficient LNG supply: A review // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2017. Vol. 45. P. 165–188. DOI: 10.1016/J.JNGSE.2017.04.035.



ТЕРМООБРАБОТКА

Пятнадцатая международная специализированная выставка
Единственная в России выставка
термического оборудования и технологий

13 - 15 сентября 2022

Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 7

Основные разделы:

- Термическое и химико-термическое оборудование
- Промышленные печи, сушильные шкафы
- Индукционное оборудование
- Жаропрочная оснастка
- Вакуумная техника и компоненты вакуумных систем
- Огнеупоры, теплоизоляция и футеровка тепловых агрегатов
- Изделия из графита, углеродного волокна и углерод-углеродных композитов
- Установки нанесения покрытий
- Диагностическое и измерительное оборудование

Независимый
выставочный
аудит



Факты о выставке 2021 года: 50 экспонентов из 11 стран мира - Россия, Беларусь, Германия, Австрия, Италия, Швейцария, Польша, Китай, Словения, Франция, Турция; 3022 кв.м. экспозиции; 2150 посетителей-специалистов

Бронь стендов и
пригласительные билеты на
www.htexporus.ru



Организатор:



на правах рекламы