



**А.Ю. Дегтерёв**  
канд. техн. наук  
Rock Flow Dynamics  
ведущий геолог  
tNavigator@rfdyn.ru

# tNavigator «Дизайнер геологии» – итоги двух лет после апробации в ГКЗ

<sup>1</sup>Россия, 625000, Тюмень, ул. 50 лет Октября, 14, оф. 1129–1130.

*Программный комплекс tNavigator представляет собой интегрированную систему, позволяющую решать весь спектр задач моделирования нефтегазовых месторождений, включая интерпретацию данных ГИС и сейсмических данных, построение геологической модели, обработку данных PVT-экспериментов, построение и анализ гидродинамических моделей с учётом конструкций скважин и сетей сбора, построение и анализ геомеханических моделей, автоматизированную адаптацию моделей и анализ неопределённостей, анализ разработки месторождений на основе созданных гидродинамических моделей, сопровождение бурения. Гидродинамический симулятор tNavigator уже много лет широко используется отечественными и зарубежными пользователями, которыми являются практически все значимые нефтегазовые компании мира. Высокая вычислительная эффективность применяемых алгоритмов, возможность распараллеливания вычислений с использованием всех вычислительных ядер рабочей станции, выполнения вычислений на графических ускорителях и вычислительных кластерах позволяет получать необходимые результаты за существенно меньшее время, чем с использованием решений от других производителей. В 2015 году гидродинамический симулятор tNavigator успешно прошёл апробацию в ФБУ «ГКЗ» совместно с ЦКР Роснедр по УВС и в настоящее время применяется всеми крупнейшими отечественными компаниями*

**Ключевые слова:** интегрированная среда моделирования; тестирование программных продуктов; апробация; гидродинамический симулятор tNavigator

**Л**юбой современный программный продукт геологического моделирования представляет собой сложный комплекс, который может быть охарактеризован по множеству параметров. Если на заре становления геологического моделирования отдельные программные продукты решали довольно узкие задачи, то в настоящее время наблюдается явная тенденция к интеграции отдельных инструментов, предоставлении единой среды, комфортной для работы команды разноплановых специалистов, совместно выполняющих моделирование. До недавнего времени ещё сохранялось разграничение между программными продуктами геологического, гидродинамического и геомеханического моделирования, петрофизической интерпретации, интерпретации сейсмических данных, в настоящее время и эти границы постепенно размываются. Программные продукты становятся всё более интегрированными.

Рабочие процессы, которые традиционно требовали покупки нескольких программных продуктов различных производителей, сейчас могут быть успешно реализованы внутри одного программного комплекса, что существенно упрощает и ускоряет получение результата. Например, ещё совсем недавно был повсеместно распространён подход, когда для выполнения межскважинной корреляции, интерпретации

янии весь парк продуктов от различных производителей, своевременно выполнять обновления, продлевать лицензии. Основным доводом в пользу такого подхода была узкая специализация каждого из применяемых программных инструментов, его признанная и многократно проверенная оптимальность для решения поставленной задачи. Но сейчас интегрированные программные среды достигли того уровня, при котором позволяют на всех этапах работ получать результаты не уступающего качества.

В связи с этим в последние годы наблюдается всё более широкий переход к использованию интегрированных сред моделирования. Экономический эффект от их использования достигается двумя путями: во-первых, за счёт сокращения сроков выполнения проектов, и во-вторых, за счёт сокращения парка лицензий используемого программного обеспечения. Поскольку интегрированные среды моделирования из года в год становятся всё более сложными, комплексными, необходима возможность как-то оценивать их функциональность, и если не сопоставлять между собой, то хотя бы проверять на соответствие некоторому набору требований. Ситуация усложняется при появлении новых продуктов на рынке. Как проверить наличие всей необходимой функциональности в новом программном продукте? Как выполнять сопоставление, если для отдельных операций в нём применяются подходы, отличающиеся от общераспространённых?

Только очень крупные компании могут позволить себе выделить ресурсы для проведения масштабного тестирования, которое может длиться несколько месяцев. Многие компании такой возможностью не располагают и вынуждены ориентироваться на мнения коллег, информацию из публикаций, материалы технических конференций. Компании из России в этом отношении оказываются в выигрышном положении, поскольку на территории страны действует ГОСТ Р 56448–2015 «Месторождения газовые, газоконденсатные, нефтегазовые и нефтегазоконденсатные. Программное обеспечение для геологического моделирования месторождений. Основные функциональные и технические требования» [1], регламентирующий требования к программному продукту геологического моделирования нефтегазовых месторождений. Данный документ регламентирует набор требований, предъявляемых к программному продукту геологического моделирования нефтегазовых месторождений. Наличие единого действующего на всей территории страны документа позволяет централизованно проводить тестирование программных продуктов на предмет соответ-

## **Наличие единого действующего на всей территории страны документа позволяет централизованно проводить тестирование программных продуктов на предмет соответствия основным функциональным и техническим требованиям**

сейсмических данных, построения трёхмерной модели и подготовки на её основе геологической графики использовались отдельные программные пакеты различных производителей. Они могли иметь частично перекрывающуюся функциональность, требовали обеспечения согласованности версий проекта, приводили к потерям времени на импорт-экспорт данных, а иногда и к потерям самой информации из-за рассогласования. Помимо сложностей непосредственно в организации работ, требовалось также поддерживать в работоспособном состо-

ствия данным требованиям. Полномочиями выполнять такую апробацию наделена «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» (ФБУ «ГКЗ») – федеральное бюджетное учреждение в ведении Федерального агентства по недропользованию РФ.

Программный комплекс *tNavigator* представляет собой интегрированную систему, позволяющую решать весь спектр задач моделирования нефтегазовых месторождений, включая интерпретацию данных ГИС и сейсмических данных, построение геологической модели, обработку данных PVT-экспериментов, построение и анализ гидродинамических моделей с учётом конструкций скважин и сетей сбора, построение и анализ геомеханических моделей, автоматизированную адаптацию моделей и анализ неопределённостей, анализ разработки месторождений на основе созданных гидродинамических моделей, сопровождение бурения. Программный комплекс представляет собой полностью отечественное программное обеспечение, зарегистрированное в Едином реестре российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных Минкомсвязи России (регистрационный номер 3354) [2]. Головной офис компании, где работают все программисты, непосредственно разрабатывающие программный продукт, находится в Москве. Программный комплекс был полностью с нуля разработан коллективом отечественных авторов без покупки или перелицензирования какой-либо сторонней интеллектуальной собственности, поглощения компаний-конкурентов или других подобных приёмов.

Гидродинамический симулятор *tNavigator* уже много лет широко используется отечественными и зарубежными пользователями, которыми являются практически все значимые нефтегазовые компании мира. Высокая вычислительная эффективность применяемых алгоритмов, возможность распараллеливания вычислений с использованием всех вычислительных ядер рабочей станции, выполнения вычислений на графических ускорителях (*GPU*) и вычислительных кластерах позволяет получать необходимые результаты за существенно меньшее время, чем с использованием решений от других производителей. В 2015 г. гидродинамический симулятор *tNavigator* успешно прошёл апробацию в ФБУ «ГКЗ» совместно с ЦКР Роснедр по УВС [3] и в настоящее время успешно применяется всеми крупнейшими отечественными компаниями.

Модуль «Дизайнер геологии» начал развиваться в качестве отдельного программного модуля в комплексе *tNavigator* только с конца

2016 г. К концу 2017 г. он уже обладал всеми базовыми инструментами, необходимыми для моделирования, начиная от интерпретации данных ГИС и сейсмических данных, и до создания полноценной геологической модели, пригодной для подсчёта запасов или выполнения гидродинамических расчётов. В связи с готовностью модуля и необходимостью его продвижения на отечественном рынке в начале 2018 г. была запущена процедура апробации программного комплекса в ГКЗ.

Одной из особенностей комплекса *tNavigator* является высокий темп его разработки. Помимо небольших обновлений, выходящих 1–2 раза в неделю, каждый год выходит 4 больших обновления, существенно расширяющих функциональность всех модулей.

Для проведения тестирования была выдана актуальная на момент начала тестирования версия 18.1, соответствующая первому выпуску 2018 г. В ходе тестирования проверялось как соответствие формальным требованиям, так и общее удобство работы в программе, длительность выполнения основных процедур моделирования. По результатам тестирования независимыми экспертами ГКЗ было подтверждено, что программный продукт *tNavigator* «Дизайнер геологии» представляет собой пакет геологического моделирования и подсчёта запасов УВС [4], к достоинствам которого можно отнести следующие возможности и особенности:

- наличие русскоязычного интерфейса;
- наличие возможности создания геологических и гидродинамических моделей в одном проекте, т.к. модуль «Дизайнер геологии» интегрирован с пакетом *tNavigator* компании *Rock Flow Dynamics*;
- наличие единого графа моделирования (*workflow*) для создания геологических моделей;
- при выполнении алгоритмических расчётов их проведение не блокирует работу пользовательского интерфейса, есть возможность проводить интерактивную работу (корреляция скважин, просмотр карт и т.д.) параллельно с вычислительными процедурами;
- наличие возможности проведения параллельных вычислений;
- реализован функционал трассирования горизонтов и разломов по данным 2D/3D сейсмике;
- наличие возможности проведения анализа неопределённостей с получением представительного набора реализаций геологической модели.

В процессе апробации также были отмечены отдельные недостатки, имевшиеся в выданной

Апробация в ГКЗ РФ										
Год	2018				2019				2020	
Версия	18.1	18.2	18.3	18.4	19.1	19.2	19.3	19.4	20.1	20.2
Методы	IDW									
	SGS									
	Крипинг									
	Минимальной кривизны									
					Amazonas					
						Конвергентный				
								ABOS		
									Спайны	Полиномы

**Рис. 1.**  
Последовательность появления новых методов картопостроения в tNavigator «Дизайнер геологии»

для тестирования версии программного продукта. Выявленные недостатки были оперативно закрыты в следующих версиях программы:

- в версии 18.4 был добавлен специальный инструмент для подсчета запасов и объемов в 2D;

- в последующих версиях процедура получения карты из 3D сетки была полностью переписана для исключения ситуаций аномально долгого расчёта и общего ускорения вычислений. В версии 18.4 расчёт карты на основе куба свойств для тестовой модели с 15 млн активных ячеек на рабочей станции с 40 логическими ядрами занимал 13 секунд, в версии 20.2 этот же расчёт на этой же рабочей станции занимает 3 секунды. Такие цифры фиксируются как при расчёте карт средних значений непрерывного параметра, так и при расчёте карт эффективных толщин;

- были существенно ускорены все этапы построения сетки, добавлена индикация процесса построения сетки, которая теперь идёт достаточно равномерно с выводом подробных сообщений о ходе выполнения всех промежуточных операций. В последующих версиях алгоритм построения 3D сетки совершенствовался как по скорости счёта, так и по возможностям полностью автоматической отработки сложных геологических ситуаций. В версии 18.4 постро-

ение сетки на 50 млн ячеек с двумя разломами, структурным и неструктурным, образующим Y-образную структуру, на рабочей станции с 40 логическими ядрами требовало 47,5 минут, в актуальной версии 20.2 для построения этой же 3D сетки на этой же рабочей станции требуется 6,5 минут. Ведутся работы над дальнейшим уменьшением времени счёта;

- в версии 20.1 была добавлена возможность объектного моделирования. В версии 20.2 было добавлено полное распараллеливание вычислений объектного моделирования с возможностью выполнения расчётов с использованием ресурсов графического ускорителя (GPU);

- в версии 19.2 была реализована поддержка импорта данных микроимиджеров, в том числе и FMI. Возможность учёта при моделировании проницаемости трещиноватых коллекторов результатов интерпретации FMI и трендовых данных в настоящее время находится в процессе реализации и будет представлена в ближайших версиях;

- в версии 18.3 была реализована поддержка ко-крайгинга при детерминированной и стохастической интерполяции трёхмерных параметров;

- в версии 19.1 было реализовано локальное обновление стохастических моделей литологии и ФЕС;

**Рис. 2.**  
Последовательность появления новых методов распространения 3D-свойств в tNavigator «Дизайнер геологии»

Апробация в ГКЗ РФ										
Год	2018				2019				2020	
Версия	18.1	18.2	18.3	18.4	19.1	19.2	19.3	19.4	20.1	20.2
Методы	IDW									
	SGS									
	Крипинг									
	SIS									
			Ко-крипинг							
				MPS (многоточечная геостатистика)						
					Подгонка 3D свойства под 2D карту					
						Геотепа по сейсмике				
							TGS (усечённая гауссова симуляция)			
									Объектное моделирование	

– в версии 18.3 был добавлен набор символов скважин.

Таким образом, большинство замечаний было исправлено уже за 2018–2019 гг. С момента прохождения апробации произошёл и ряд других важных для пользователей улучшений в программе. В частности, существенно возросло число реализованных методов картопостроения (рис. 1) и методов распространения 3D-свойств (рис. 2), где были реализованы как практически все наиболее востребованные алгоритмы, так и отдельные уникальные процедуры.

Появились продвинутые инструменты анализа сейсмических данных, петрофизической интерпретации, подготовки макета печати, был полностью переработан модуль сопровождения бурения. Были существенно улучшены инструменты автоматизации работы с использованием графа моделирования (*workflow*) и пользовательских скриптов, в настоящее время по ряду параметров существенно превосходящие все решения, представленные в других программных продуктах. Значительная работа была проведена по повышению удобства интерфейса пользователя, усовершенствованию материалов контекстных справок, доступных для всех инструментов программы.

Значительное внимание уделяется анализу и подготовке исходных данных, которые можно выполнять непосредственно в программе. В программных продуктах зарубежных производителей данному моменту уделяется крайне мало внимания. По-видимому, при проектировании этих программных продуктов предполагалось, что при геологическом моделировании всегда имеется набор качественных выверенных данных, уже прошедших проверку. Но в реальной практике (причём не только отечественной), особенно при работе с архивными материалами, часто приходится иметь дело с данными, крайне неоднородными по качеству, содержащими ошибки, нарушения формата записи стандартных файлов и т.п. «Дизайнер геологии» имеет ряд инструментов, в том числе уникальных, не встречающихся в других пакетах моделирования, позволяющих организовать процесс предварительного анализа и подготовки исходных данных.

Поддерживается очень широкий список форматов импорта, в том числе с нестандартными опциями, ошибками записи. Импорт таких данных заканчивается не падением программы, не молчаливым отказом, как это обычно бывает в других пакетах, а предупреждением пользователя при импорте и, в отдельных случаях, когда это возможно – исправлением ошибок. Уже после импорта в проект загруженные данные

можно визуально и количественно проанализировать, переименовать, систематизировать, в том числе с использованием внутренней системы тегов, и привести в пригодное для работы состояние.

В последних версиях программы были добавлены инструменты для загрузки вертикальных растровых профилей, интерактивной оцифровки растровых карт, трансформации координат сейсмических данных. Поддержка вертикальных растровых профилей необходима для выполнения поисково-разведочных работ и регионального моделирования. Трансформация координат сейсмических данных позволяет полноценно использовать в проекте сейсмические материалы, выполненные в условных координатах. Направления основных улучшений формируются по запросам пользователей программы.

Активно развиваются инструменты для внутреннего контроля качества моделей и подготов-

## **Активно развиваются инструменты для внутреннего контроля качества моделей и подготовки моделей к предоставлению на государственную экспертизу**

ки моделей к предоставлению на государственную экспертизу. В настоящее время имеются все необходимые средства для подготовки графики, подтверждающей корректность принятых в модели построений, ручные и автоматизированные процедуры для финальной доводки карт и трёхмерных распределений свойств. Имеются средства для выявления некорректных элементов геометрии и распределения свойств моделей, обнаружения внутренних несоответствий, выявления следов ручного вмешательства в процесс моделирования.

В настоящее время *tNavigator* «Дизайнер геологии» активно используется при создании и сопровождении геологических моделей не только зарубежными компаниями (*Wintershall-DEA, OMV, Bahar Energy, GRDC*), но и отечественными, среди которых можно отметить ПАО «Газпром» и ПАО «Татнефть». Говоря про успехи на отечественном рынке, нельзя не отметить роль экспертов ГКЗ, благодаря конструктивному взаимодействию с которыми были существенно улучшены наиболее важные для отечественных пользователей инструменты и добавлены новые необходимые в работе средства. <sup>10</sup>

## Литература

1. ГОСТ Р 56448–2015. Месторождения газовые, газоконденсатные, нефтегазовые и нефтегазоконденсатные. Программное обеспечение для геологического моделирования месторождений. Основные функциональные и технические требования. Доступно на: <http://docs.cntd.ru/document/1200121469> (обращение 07.08.2020).
2. Свидетельство о гос регистрации программы для ЭВМ № 2013612152. Доступно на: [https://reestr.minsvyaz.ru/reestr/106969/?sphrase\\_id=392839](https://reestr.minsvyaz.ru/reestr/106969/?sphrase_id=392839) (обращение 07.08.2020).
3. Протокол заседания секции углеводородного сырья Экспертно-технического совета ФБУ «ГКЗ» от 10 июня 2015 г. Доступно на: <https://rfdyn.ru/wp-content/uploads/2018/10/gkz.pdf> (обращение 07.08.2020).
4. Протокол № 14 заседания секции по программному обеспечению и аппаратным средствам Экспертно-технического совета ФБУ «ГКЗ» от 16 октября 2018 г. Доступно на: <https://rfdyn.ru/wp-content/uploads/2018/11/ProtokolGKZ.pdf> (обращение 07.08.2020).

UDC 553.98:004.4

A.Yu. Degterev, PhD, Leading Geologist, Rock Flow Dynamics<sup>1</sup>, [tNavigator@rfdyn.ru](mailto:tNavigator@rfdyn.ru)

<sup>1</sup>14 50 years of October str., office 1129–1130, Tyumen, 625000, Russia.

# Geology Designer of tNavigator: results of two years after practical approval in State Reserves Commission

**Abstract.** tNavigator software system is an integrated solution that allows solving the complete range of problems existing in oil and gas field modelling, including well log and seismic data interpretation, building geological model, PVT data processing; building and analysis of hydrodynamic models taking into account well design and acquisition geometry, building and analysis of geomechanical models, computer-aided history matching and analysis of uncertainties, field development review on the basis of hydrodynamic models created, and drilling support. tNavigator is a hydrodynamic simulator that has been widely used for many years by users — almost all major oil and gas companies in Russia and abroad. High computational efficiency of the algorithms used, parallel computing with the use of all workstation cores, computation on graphics accelerators and high performance computer clusters allow obtaining the required results much faster than with the use of any other third party solutions. In 2015, the tNavigator hydrodynamic simulator has passed evaluation test in the State Reserves Commission and Rosnedra Central Development Committee (Hydrocarbons); today, all major Russian companies use it.

**Keywords:** integrated simulation environment; software product testing; practical approval; tNavigator hydrodynamic simulator

## References

1. ГОСТ Р 56448–2015. *Mestorozhdeniia gazovye, gazokondensatnye, neftegazovye i neftegazokondensatnye. Programnoe obespechenie dlia geologicheskogo modelirovaniia mestorozhdenii. Osnovnye funktsional'nye i tekhnicheskie trebovaniia* [GOST R 56448–2015. Gas, gas condensate, oil and gas and oil and gas condensate fields. Software for geological modeling of deposits. Basic functional and technical requirements]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200121469> (accessed 7 August 2020).
2. *Svidetel'stvo o gos registratsii programmy dlia EVM № 2013612152* [Certificate of state registration of a computer program No. 2013612152]. Available at: [https://reestr.minsvyaz.ru/reestr/106969/?sphrase\\_id=392839](https://reestr.minsvyaz.ru/reestr/106969/?sphrase_id=392839) (accessed 7 August 2020).
3. *Protokol zasedaniia sektiisii uglevodorodnogo syr'ia Ekspertno-tekhnicheskogo soveta FBU «GKZ» ot 10 iunია 2015 g* [Journal of the meeting of the hydrocarbon raw materials section of the FBU “GKZ” Expert and Technical Council dated June 10, 2015]. Available at: <https://rfdyn.ru/wp-content/uploads/2018/10/gkz.pdf> (accessed 7 August 2020).
4. *Protokol № 14 zasedaniia sektiisii po programmnomu obespecheniiu i apparatnym sredstvam Ekspertno-tekhnicheskogo soveta FBU «GKZ» ot 16 oktiabria 2018 g* [Journal no. 14 meeting of the section on software and hardware of the Expert and Technical Council of the FBU “GKZ” dated October 16, 2018. Available at: <https://rfdyn.ru/wp-content/uploads/2018/11/ProtokolGKZ.pdf> (appeal 08/07/2020).]. Available at: <https://rfdyn.ru/wp-content/uploads/2018/11/ProtokolGKZ.pdf> (accessed 7 August 2020).