



УДК 622.013.3  
Обзор / Review  
© ПНИПУ / PNRPU, 2020



## Анализ применения инструментов концептуального инжиниринга при проектировании системы обустройства активов

К.Э. Кельберг, Н.А. Лядова

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми (Россия, 614015, г. Пермь, ул. Пермская, 3а)

## Analysis of Conceptual Engineering Tools Application of in Assets Arrangement System Designing

Kristina E. Kelberg, Nadezhda A. Lyadova

PermNIPIneft branch of LUKOIL-Engineering LLC in Perm (3a Permskaya st., Perm, 614015, Russian Federation)

Получена / Received: 03.02.2020. Принята / Accepted: 15.06.2020. Опубликовано / Published: 17.08.2020

### Ключевые слова:

концептуальное проектирование, комплексный подход, система обустройства, актив, анализ, оптимизация, картографическая привязка, модуль, синергия, вариативность, интегрированная модель, системный инжиниринг.

В сложившихся макроэкономических условиях очень важно на ранних этапах проектирования оценить эффективность и риски разработки актива.

В настоящее время проектирование в нефтедобывающей отрасли невозможно без реализации комплексных технологий проектирования, предусматривающих уже на начальном этапе работ управление всей технической информацией об объекте на протяжении всего цикла его дальнейшей эксплуатации. В сжатые сроки необходимо принимать инвестиционные решения, основанные на неполных и разрозненных исходных данных. Поставленные задачи решаются за счет использования инструментов концептуального проектирования.

Данная работа посвящена оценке и анализу существующих подходов концептуального проектирования системы сбора и обустройства месторождений.

Отражены методики и инструменты концептуального инжиниринга таких компаний, как Ingenix Group, ООО «Газпромнефть НТЦ», ООО «Газпромнефть-Развитие», ООО «РН-УфаНИПИнефть», ОАО «ТомскНИПИнефть» и Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми.

Представлено применение инструментов концептуального проектирования на приоритетных объектах для Филиала, таких как освоение Командиршорской группы месторождений и технико-экономическая оценка разработки стратегии развития Варандей-Адзвинского актива. По обоим проектам были созданы мультидисциплинарные группы, выполнен оперативный пересчет запасов, проведена многовариантная проработка схем систем сбора и обустройства с учетом вероятностного подхода, оценена экономическая эффективность и предложены оптимальные варианты.

На основе анализа выявлены основные инструменты концептуального проектирования для разработки системы обустройства новых активов, обозначены пути дальнейшего развития реализации методов в Филиале ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми.

### Keywords:

conceptual design, integrated approach, development system, asset, analysis, optimization, cartographic binding, module, synergy, variability, integrated model, system engineering.

In the current macroeconomic conditions, it is very important at the early design stages to assess the efficiency and risks of developing an asset.

At present, design in the oil industry is impossible without the implementation of integrated design technologies, which provide for the management of all technical information about the facility at the initial stage of work throughout the entire cycle of its further operation. In a short time, it is necessary to make investment decisions based on incomplete and disparate initial data.

The tasks are solved through the use of conceptual design tools.

This work is devoted to the assessment and analysis of existing approaches to the conceptual design of a collection system and field development.

The methods and tools of conceptual engineering by such companies as Ingenix Group, Gazpromneft STC LLC, Gazpromneft-Development LLC, RN-UfaNIPIneft LLC, JSC TomskNIPIneft and PermNIPIneft branch of LUKOIL-Engineering LLC in Perm were considered.

The application of conceptual design tools at priority facilities for the Branch, such as the development of the Komandishorskaya group of fields and a feasibility study for a development strategy for the Varandey-Adz'vinsky asset was presented. For both projects, multidisciplinary teams were created, an operational recalculation of reserves was carried out, a multivariate study of schemes for gathering and construction was carried out taking into account a probabilistic approach, economic efficiency was assessed and optimal options were proposed.

Based on the analysis, the main conceptual design tools for the development of a system for the arrangement of new assets were identified, and the ways of further methods implementation development in the PermNIPIneft branch of LUKOIL-Engineering LLC in Perm were outlined.

**Кельберг Кристина Эрнстовна** – главный инженер проекта отдела главных инженеров проектов (тел.: +007 342 233 76 44, e-mail: Kristina.Kelberg@pnn.lukoil.com).  
**Лядова Надежда Алексеевна** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заместитель генерального директора – директор филиала (тел.: +007 342 233 67 81, e-mail: nadezhda.lyadova@pnn.lukoil.com).

**Kristina E. Kelberg** – Chief Project Engineer at the Chief Project Engineers Department (tel.: +007 342 233 76 44, e-mail: Kristina.Kelberg@pnn.lukoil.com).  
**Nadezhda A. Lyadova** (Author ID in Scopus: 36712086700) – PhD in Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Deputy General Director – Branch Director (tel.: +007 342 233 67 81, e-mail: nadezhda.lyadova@pnn.lukoil.com).

## Введение

В настоящее время эффективное проектирование в нефтедобывающей отрасли невозможно без реализации комплексных технологий проектирования, предусматривающих уже на начальном этапе работ управление всей технической информацией об объекте на протяжении всего цикла его дальнейшей эксплуатации.

Проектирование крупных месторождений со сложными инфраструктурой и техническими решениями предполагает объединение объектов в группы по функциональному признаку (объекты подготовки скважинной продукции, трубопроводы, вспомогательная инфраструктура и др.), которые проектируются профильными специалистами под управлением менеджеров и главных инженеров проекта. При рассмотрении проектных решений по комплексу объектов различных функциональных групп выявляется много нестыковок, несмотря на то что проекты по индивидуальным объектам разработаны в строгом соответствии с техническим заданием, требованиями действующих норм проектирования и имеют положительное заключение Главной государственной экспертизы. Кроме того, при таком подходе к обустройству месторождений на более поздних стадиях проектирования или при эксплуатации выявляются потенциальные возможности использования ресурсов одной технологической системы для другой, т.е. проявляются синергетический и эксергетический эффекты, не учтенные при выполнении проектов. Избежать большого объема принятых неэффективных проектных решений и корректировок проектной документации позволяет разработка комплексной концепции развития месторождения [4].

Концептуальное проектирование – это этап выполнения работ, на котором необходимо рассматривать возможность применения новых технологий и оценивать степень их влияния на экономическую эффективность проекта в целом [1–16].

В связи с этим следует проанализировать инструменты и методики концептуального инжиниринга компаний нефтегазовой отрасли, описать их основные преимущества, возможности дальнейшего развития и существующие недостатки.

## Ingenix Group

Ingenix group – консалтинговая компания в нефтегазовой отрасли. Для комплексной оценки стоимости нефтегазового проекта ими

был создан комплекс Ingenix Cost Manager (ICM), позволяющий интегрировать друг с другом технические расчеты, картографическую привязку и автоматический расчет протяженности линейных объектов и их стоимости.

Данное ПО позволяет расставлять технические характеристики на карте с автоматизированным расчетом протяженности линейных объектов и оценкой их стоимости, что в свою очередь значительно экономит продолжительность оценки и увеличивает ее точность.

В ICM реализован комбинированный подход, сочетающий применение стоимостных моделей и картографического модуля [17].

В базе данных затрат каждый из объектов детализирован до расшифровки технологических блоков и оборудования, стоимость разбита по видам затрат на строительные-монтажные работы, оборудование и прочее. Наличие таких характеристик позволяет понимать состав объекта и корректировать его стоимость в дальнейшем, при изменении начальных технических условий.

Данный модуль содержит в себе инструменты для оценки стоимости и картографический модуль – размещение объекта на карте и процесс оценки затрат могут протекать практически одновременно. Благодаря этому на карте возможно:

- размещать объекты, которые уже вошли в состав проекта (затраты уже оценены);
- связывать площадные объекты линейными объектами инфраструктуры. При этом технические характеристики, связанные с топографией, будут получены непосредственно с карты, а остальные параметры стоимостной модели будут доступны для выбора из набора рекомендованных значений;
- позволяет существенно снизить длительность и повысить точность выполнения оценки за счет картографического модуля, а также автоматизации сбора исходных данных, рассмотрения нескольких технических сценариев и интеграции с другими программными комплексами [1].

При моделировании линейных объектов с использованием геоданных система в качестве входных параметров применяет данные, полученные с карты (рис. 1). Качество картографического материала оказывает прямое влияние на точность выполняемых расчетов стоимости линейных объектов [1].

На основе результатов работы сервисов геообработки (получение геоданных), технических параметров объекта, а также стоимостного моделирования ICM может оперативно оценить несколько технических сценариев. Сравнив полученные объекты между собой, пользователь получает возможность выбора оптимального решения.

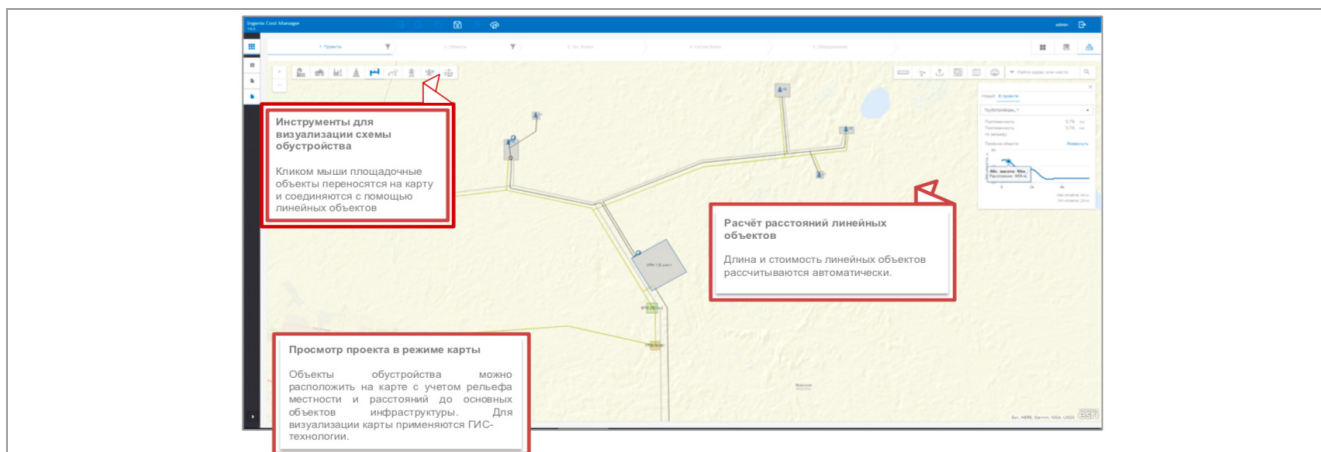


Рис. 1. Комплекс ICM: моделирование системы обустройства по картографическим данным

Сравнение объектов выполняется также в интерфейсе программного комплекса. При этом производится анализ их многоуровневой структуры. В сравнении участвуют все уровни детализации. Все сравниваемые объекты можно проанализировать по составу технологических блоков и оборудованию.

Пользователь выбирает оптимальное решение с учетом нескольких вариантов моделирования и оценки объектов.

В рамках этого решения расчет технологических характеристик объекта выполняется в PIPESIM. Результаты расчета через ГИС-коннектор передаются в ICM, где производится расчет стоимости объекта и определяется его состав (включая оборудование).

Использование результатов расчета доступно как в ICM при расчете профиля капитальных и операционных затрат и экономической эффективности проекта в целом, так и в программах линейки Schlumberger [1].

Внедрение комбинированного подхода к использованию специализированных картографических сервисов и стоимостных моделей позволило существенно снизить нагрузку на концептуальных инженеров и сфокусировать их внимание на более важных процессах оптимизации инженерных решений. При этом сократилось время на оценку затрат нефтегазовых проектов и повысилась ее точность [17–23].

Преимущества:

- удобный и понятный интерфейс на русском языке;
- автоматизированный расчет стоимости строительства линейного объекта при моделировании с использованием геоданных;
- возможность сравнивать несколько вариантов непосредственно в интерфейсе ПО;
- учет рельефа местности при моделировании объекта и последующей стоимостной оценке.

Недостатки:

- отсутствует возможность загрузки картографических данных инженерных изысканий различных форматов.

Развитие:

- углубления интеграции с другими программными решениями и ПО, имеющими смежный функционал.

ООО «Газпромнефть НТЦ»  
ООО «Газпромнефть-Развитие»

Для определения оптимального варианта системы поверхностного обустройства с учетом вариативности исходных данных добычи реализован подход к выполнению расчетов с учетом вероятностных профилей по отдельным источникам на базе информационной системы (ИС) интегрированного концептуального проектирования «ЭРА:ИСКРА».

Шаг 1. Сбор и загрузка исходных данных в ИС «ЭРА:ИСКРА». Перечень загружаемых исходных данных:

- варианты профилей добычи источника (отдельная скважина, кустовая площадка, месторождение или лицензионные участки), по которым можно задать значение вероятности, учтенное в расчете;
- физико-химические свойства флюидов;
- картографические данные, которые в ИС «ЭРА:ИСКРА» отображаются в масштабе с привязкой к заданной системе координат, что позволяет определять протяженность линейных объектов в системе;
- удельные показатели (для расчетов капитальных вложений и эксплуатационных затрат), используемые для определения параметров экономической эффективности в финансово-экономической модели [24].

Шаг 2. Разработка схем поверхностного обустройства. Схема поверхностного обустройства разрабатывается на основании картографических данных по расположению объектов обустройства и точек сдачи товарной нефти.

Шаг 3. Определение технических и экономических параметров для схем по вариантам добычи. Перечень экземпляров расчета формируется на основе данных по профилям добычи и вариантов схем обустройства.

По каждому экземпляру расчета по реализованным в ИС «ЭРА:ИСКРА» алгоритмам были выполнены расчеты по годам профили-дизайнов объектов обустройства, гидравлические расчеты с подбором диаметров трубопроводов, определены производительности нефте-перекачивающих станций (НПС) и приемо-сдаточного пункта (ПСП) нефти. Для каждого объекта обустройства установлена возможная дата ввода в эксплуатацию [24].

В ИС «ЭРА:ИСКРА» реализована возможность учета разных комбинаций профилей добычи по каждому источнику. По отдельным объектам с высокой степенью геологической неопределенности может быть использовано более трех профилей добычи. Или, наоборот, по объектам, имеющим достоверный прогноз, может быть использован только один профиль. Существует также возможность задать нулевой профиль для случая, когда по объекту есть риск неподтверждения добычи или вероятность отказа от добычи по нему [24–32].

Реализованный подход к выполнению расчета позволяет учитывать разные варианты профилей добычи не только по ее объему, но и по дате ввода объектов разработки в эксплуатацию.

После определения технических параметров по каждому экземпляру расчета выполняется расчет экономических показателей. При этом для региональной стратегии в ИС реализована возможность расчета следующих ключевых параметров:

- капитальных вложений в объекты обустройства;
- операционных затрат;
- совокупной стоимости владения (ТСО);
- экономической эффективности проекта (NPV).

Шаг 4. Выбор рекомендуемого варианта. На основе полученных значений экономических показателей формируется рейтинг вариантов обустройства. На основе рейтинга выбирается вариант схемы обустройства с наименьшим средним значением ТСО.

В системе реализована возможность выбора рекомендуемого варианта:

- по величине затрат (суммарные капитальные вложения и операционные затраты, динамика затрат, ТСО);

- по показателям экономической эффективности: чистому дисконтированному доходу NPV, индексу рентабельности PI, внутренней норме доходности IRR.

При близких средних значениях экономических показателей рекомендуемый вариант может быть выбран на основе данных по разбросу максимального и минимального значений параметра или по ожидаемому отклонению от среднего значения. Это позволяет найти наиболее устойчивое к переменным параметрам техническое решение с гибкими характеристиками [26].

Таким образом, выбор рекомендуемого варианта основан не на отдельных исходных данных, а на серийном многовариантном расчете и имеет количественную оценку риска, связанного с изменением исходных данных по профилю добычи [24].

Шаг 5. Определение оптимальных параметров системы обустройства. Для выбранного рекомендуемого варианта обустройства в ИС «ЭРА:ИСКРА» рассчитаны технические параметры для множества вариантов по профилям добычи. Следующей задачей является определение конкретных технических параметров системы (производительности установок, диаметров трубопроводов, дат ввода объектов в эксплуатацию), которые в дальнейшем должны использоваться для проектирования [26].

При этом возможны следующие варианты решения данной задачи (данная функция выполняется проектной командой):

1. На основе выполненных расчетов в системе выбирается значение параметра, которое соответствует наибольшему числу вариантов.

2. В соответствии с возможными вариантами добычи от минимальной до максимальной предусматривается выделение отдельных пусковых комплексов с поэтапным вводом объектов в эксплуатацию.

3. Для принятия окончательного решения можно использовать экономические показатели EMV, NPV.

Преимущества:

- комплексная загрузка исходных данных (профиль добычи, картографические данные, стоимостные показатели);

- возможность многовариантного расчета;
- функция ограничений по экономическим показателям.

Недостатки:

- отсутствует возможность моделирования линейных объектов;

- не учитываются блок электроснабжения;
- нет интеграции с 3D-модулем.

Развитие:

- увеличение числа модулей ИС и разработка оптимизационных инструментов для расчета большого массива данных.

### ОАО «НК «Роснефть»»

В ОАО «НК «Роснефть»» внедрена информационно-телекоммуникационная система управления объектами обустройства месторождений нефти и газа (ИТСУП-РН), позволяющая, в частности, обеспечить работу заказчика и проектных организаций в едином информационном пространстве.

В качестве базового программного обеспечения (ПО) общей функциональности системы ИТСУП-РН принята линейка программных продуктов SmartPlant фирмы Intergraph, внедрение которой начато в ООО «РН-УфаНИПИнефть» с 2006 г. [35].

Система SmartPlant разделена по процессам на следующие группы:

– SmartPlant2D – разработка технологической части проекта, электрики, КИПиА, обслуживание в процессе эксплуатации промышленного объекта;

– SmartPlant3D – разработка 3D-модели объекта, выпуск проектной документации, обслуживание в процессе эксплуатации промышленного объекта;

– SPF/TEF – интеграция и управление всеми проектными данными на основе Web-технологии [36].

В институте в список внедренных в промышленную эксплуатацию программных продуктов фирмы Intergraph входят: SmartPlant P&ID, SmartPlant Instrumentation (INTOOLS), Smart Plant Electrical. В стадии внедрения программные продукты SmartPlant 3D и SmartPlant Foundation (SPF) (рис. 2) [35–36].

Эти программные продукты построены по принципу единой базы данных, находящейся под управлением Oracle или MS SQL, что особенно актуально для больших массивов информации, характерных для индустриального проектирования. Наличие современной базы данных позволяет поддерживать уникальность имен на уровне элементов, избежать дублирования информации и сохранить ссылочную целостность данных на всех этапах проектирования. Тесная интеграция с office-приложениями и другими программами, поддерживающими стандарт OLE, значительно упрощает процесс получения различного рода отчетной и проектной документации [35–36].

Еще одной отличительной особенностью этих программ является возможность публикации данных в Интернете, что приобретает особую

важность в настоящее время, когда проектные работы часто выполняются в территориально удаленных подразделениях, соединенных лишь телефонными сетями и Интернетом. Это актуально для передачи данных на удаленные строительные площадки, проработки заказных спецификаций другими подразделениями на основании решений технологов [35].

Программный модуль SmartPlant P&ID позволяет моделировать совмещенные интеллектуальные технологические схемы с установкой технологического оборудования, трубопроводной арматуры, приборов КИПиА.

Одним из важных качеств SmartPlant P&ID является интеграция базы данных оборудования с элементами схемы, т.е. возможность выбора компонента схемы по определенным параметрам из существующей базы данных оборудования и добавления параметров этого элемента (наименование, диаметр, ГОСТ или ТУ, завод-изготовитель, давление и др.) в виде атрибутивной информации в технологическую схему. Для дальнейшего использования схемы на протяжении всего этапа проектирования необходимо максимальное насыщение атрибутивной информацией каждого элемента. Реализуемая схема позволяет осуществлять интеллектуальный анализ проекта по различным позициям – соответствие диаметров и типов трубопроводов, входных и выходных потоков, наличие достаточной информации по элементам схемы для однозначной их идентификации и др. Схема (P&ID-диаграмма) строится по модульному принципу, в основу которого положено размещение объектов в структуре по позициям генплана [35].

SmartPlant Instrumentation (Intools) де-факто является мировым стандартом для проектирования систем автоматики, особенно в области нефтедобычи, транспорта нефти, нефтепереработки и нефтехимии. Несмотря на это, опыт работы с данным ПО в области нефтедобычи в России отсутствует. Специалистам из отдела КИПиА Департамента проектирования ООО «РН-УфаНИПИнефть» пришлось провести значительную работу по адаптации и настройке системы к отечественным нормам [35].

Интуитивно понятный интерфейс, однократный ввод информации, исключение ошибок, возможность настройки любых шаблонов документации, получение разнообразных отчетов из базы позволили сократить срок адаптации ПО и освоения его новыми специалистами. Дальнейшее проектирование систем автоматизации в настоящее время выполняется в SmartPlant Instrumentation [35, 36].

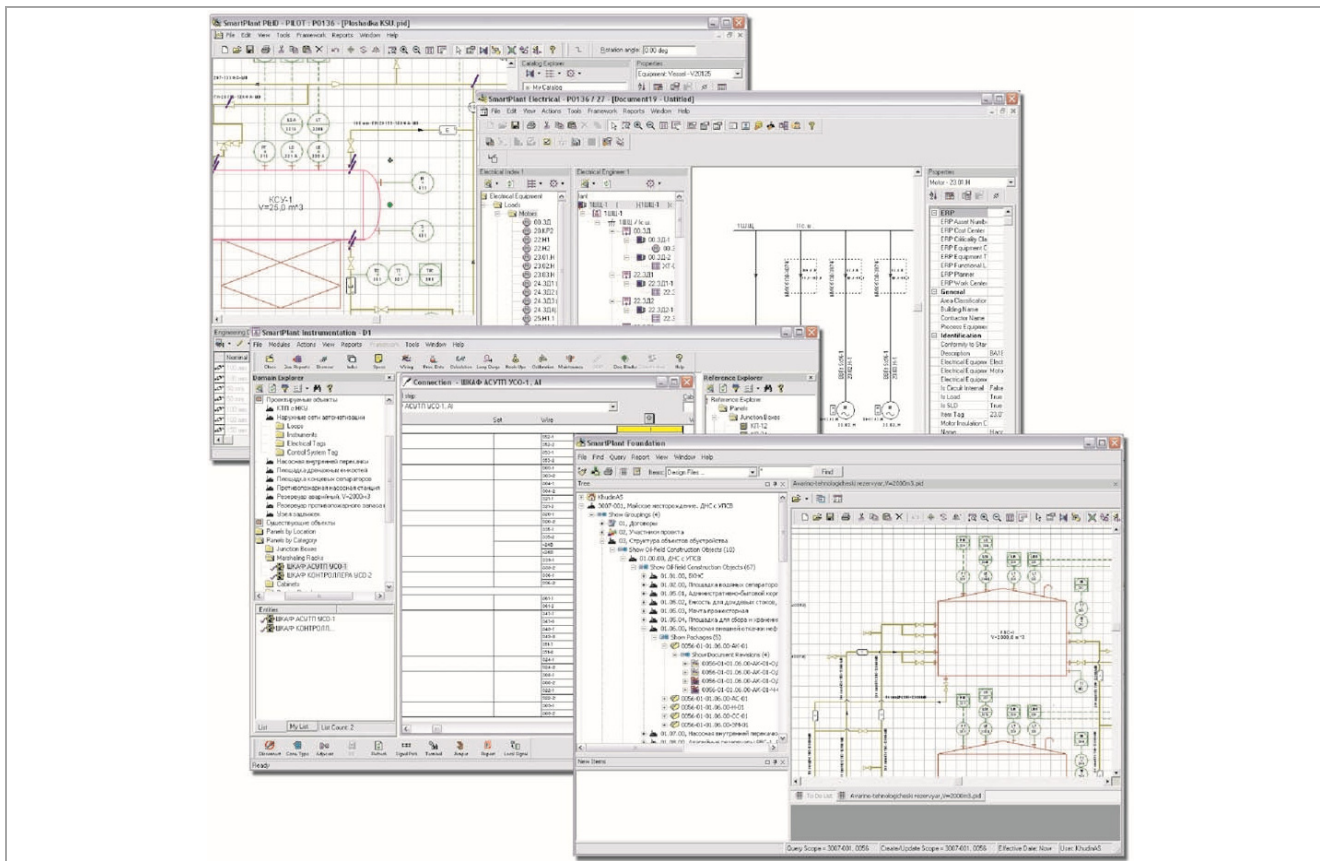


Рис. 2. Примеры проектирования в SmartPlant

SmartPlant Electrical – специализированное решение для проектирования и дальнейшего сопровождения электрических распределительных сетей промышленных предприятий. Основная задача данного пакета – разработка схем управления электрооборудованием и схем электрических однолинейных. Этот модуль оказался одним из наиболее проблемных для освоения из всей линейки SmartPlant, что вызвано отсутствием опыта использования данного ПО в России, большими различиями в принципах моделирования электрических схем и оформления выходной документации в России и за рубежом. Были проведены работы по адаптации ПО к отечественным требованиям, выпущены регламентирующие работу проектировщика инструкции.

С октября 2006 г. в ООО «РН-УфаниПИНефть» приступили к внедрению модуля трехмерного проектирования SmartPlant 3D.

Системы трехмерного проектирования имеют следующие преимущества:

- сокращение ошибок в проекте за счет функций проверки на коллизии;
- автоматическая генерация выходных текстовых документов;
- сокращение трудозатрат за счет автоматизированного выпуска чертежей;

– простота внесения изменений в проект, взаимная согласованность данных всех проектных дисциплин;

– высокое качество и наглядность проектных решений.

Модели проектов SmartPlant находятся на сервере в виде баз данных SQL Server и содержат как графическую, так и атрибутивную информацию. Такая архитектура ускоряет обработку трехмерных данных, позволяет пользователям отслеживать изменения в модели в режиме реального времени, упрощает задачу администрирования. Сложное оборудование моделируется непосредственно проектировщиками и при необходимости заносится в общедоступный каталог фрагментов. В дальнейшем фрагменты могут быть использованы в последующих проектах.

Новая технология позволяет согласовывать правильность проектных решений на раннем этапе – в модели, в этом случае конечный чертеж будет застрахован от ошибок. Затраты времени на создание 3D-модели объекта компенсируются быстрой ее корректировкой и при необходимости внесением изменений по требованию заказчика или другим причинам. Результат проектной работы – чертежи (виды, разрезы, изометрические схемы) – генерируются с завершённой модели [35].

О переходе к промышленной эксплуатации всей технологической линейки SmartPlant нельзя говорить без предварительной разработки и принятия регламентов проектирования в новых условиях, в частности, необходимо наличие документов, разрешающих выпуск проектной документации в виде изометрических схем, P&ID-диаграмм и др.

В основе информационной системы проектирования в среде SmartPlant фирмы Intergraph заложена идея создания и управления всей технической информацией об объекте на протяжении всего цикла его эксплуатации. Для решения этой задачи предназначена корпоративная система документооборота в среде SmartPlant Foundation (SPF) [36].

Система SPF обеспечивает автоматизацию следующих функций:

- информационное обеспечение участников проекта;
- электронный архив технической и организационно-распорядительной документации;
- документооборот – маршрутизация документов и контроль исполнения;
- интеграция электронного архива с прикладными программами;
- обеспечение информационной безопасности.

Данная система функционирует с 2007 г. в ООО «РН-УфаНИПИнефть». Кроме обычного электронного архива, в работу внедрена процедура безбумажного согласования проектной документации Workflow, режим корректировки и передачи замечаний при согласовании – «красный карандаш», передача заданий между смежными подразделениями [35].

Преимущества:

- проектирование всех технологических сетей в одном ПО;
- создание на начальном этапе внедрения ПО группы разнопрофильных специалистов и апробация всех модулей на одном пилотном проекте;
- синергия модуля SPF с проектированием технологических сетей в одном ПО;
- возможность публикации данных через интернет-сети.

Недостатки:

- отсутствие русификации интерфейса;
- отсутствие привязки к картографическим данным.

Развитие:

- интеграция картографического модуля с SmartPlant 3D.

### ОАО «ТомскНИПИнефть»

В ОАО «ТомскНИПИнефть» на основе многолетнего опыта выполнения концептуальных

работ разработана методология, сформированы основные подходы к предпроектной оценке капитальных вложений и операционных затрат.

Особенности методологии заключаются в поэтапной проработке технических решений, оценке капитальных вложений и эксплуатационных затрат по вариантам и дальнейшем уточнении технических решений по рекомендуемому варианту. Пример последовательности разработки технических решений и выбора оптимального варианта обустройства по указанной методологии ОАО «ТомскНИПИнефть» представлен на рис. 3 [37].

Кроме того, в процессе разработки концепций и накопления опыта активно создаются шаблоны типовых решений с границами эффективности по различным направлениям: трубопроводный транспорт, утилизация газа, энергоснабжение и др. [37–39].

Данные шаблоны позволяют еще на этапе формирования дерева вариантов обустройства исключить все неэффективные решения и оптимизировать разработку концепции актива.

### Моделирование развития актива

Совершенствование технологии выполнения концептуального проектирования вследствие его сложности требует упрощения, автоматизации процесса проработки технических решений по различным вариантам с учетом возможных изменений исходных данных. С этой целью на основе представленной выше методологии ТомскНИПИнефти разрабатывается оригинальный инструментарий – информационная модель технико-экономической оценки (ИМ-ТЭО) [37].

Основное назначение ИМ-ТЭО – проведение экономической экспресс-оценки возможных вариантов развития наземной инфраструктуры месторождения, групп месторождений, региона, которое включает:

- ввод и обработку данных о добыче на лицензионных участках, очередности ввода лицензионных участков в эксплуатацию;
- определение основных показателей бурения скважин и строительства кустовых оснований;
- расчет основных технологических показателей обустройства лицензионных участков;
- оценку главных экономических показателей на основе данных о добыче нефти и газа, очередности ввода лицензионных участков и месторождений в эксплуатацию, графике бурения и обустройства [37].

Алгоритм работы функциональных блоков ИМ-ТЭО представлен на рис. 4.

Преимущества:

- утвержденная методология;

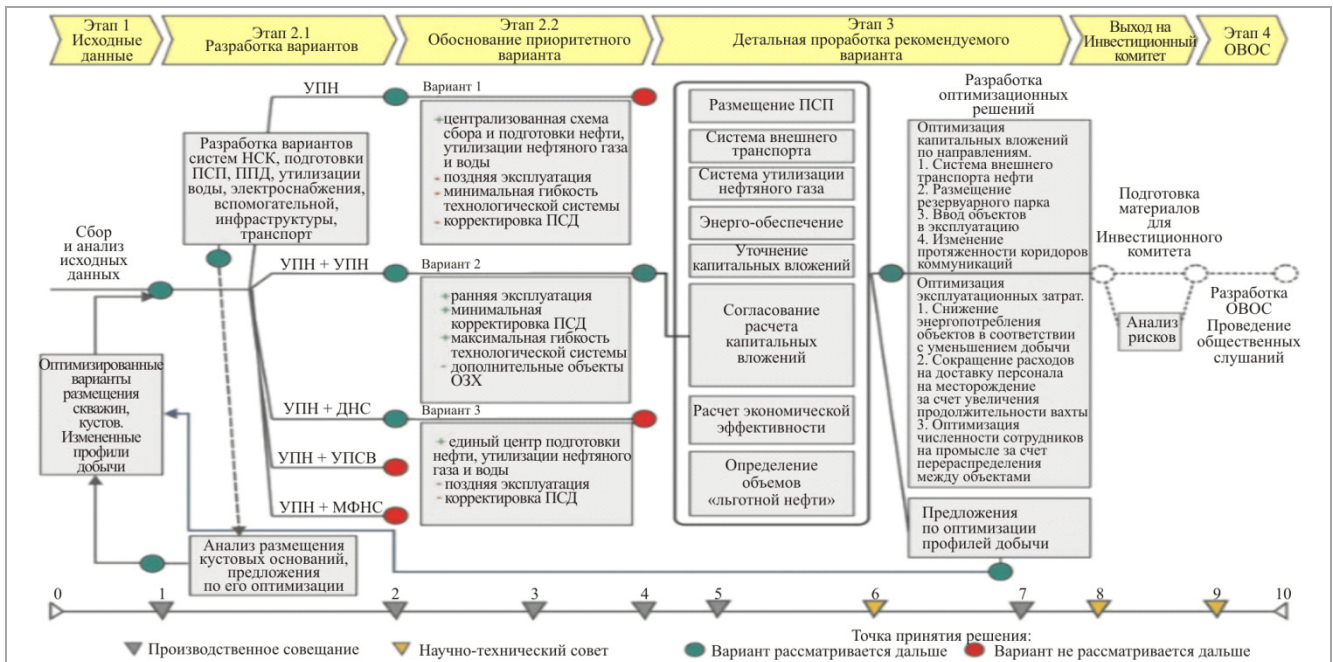


Рис. 3. Пример выполнения концептуального проекта обустройства по методологии ОАО «ТомскНИПнефть»



Рис. 4. Алгоритм работы ИМ-ТЭО

• комплексная загрузка исходных данных (профиль добычи, картографические данные, стоимостные показатели).

Недостатки:

• отсутствие ПО для синергии всех расчетов.

Развитие:

• универсализация расчетной модели, обеспечение применимости для различных регионов России;

• интеграция с картографическими базами данных, учет рельефа местности;

• разработка модуля многофакторной оценки достижения экономической эффективности;

• разработка модулей расчета схем логистики по направлениям: балансовые расчеты систем с вариантами перевозок нефти и нефтепродуктов, технико-экономический



анализ вариантов доставки грузов на месторождения и выбор наименее затратного;

- создание модуля, который позволит установить взаимосвязь между подземной и наземной составляющими обустройства месторождения.

**Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми**

В настоящее время в Филиале ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми реализуется и внедряется система «Концептуального инжиниринга».

Разработан регламент выполнения концептуального проектирования в ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» для приоритетных активов компании, в котором отражены:

- описание процесса концептуального проектирования;
- порядок взаимодействия структурных подразделений;
- схема подготовки проекта (рис. 5);
- необходимый перечень исходных данных.

Для разработки оптимальных систем сбора и обустройства месторождений применяется целый комплекс инструментов концептуального инжиниринга:

- информационная система Pilot-ICE;

- ICM 2.0;
- 3D-моделирование площадных объектов;
- расчет интегрированных моделей системы обустройства месторождений.

Pilot-ICE. Для структурирования и хранения всей накопленной информации по активам в части проектно-изыскательских работ с 2013 г. был приобретен продукт – информационная система Pilot-ICE.

Изначально информационная система представляла собой электронное структурированное хранилище данных с возможностью загрузки и выгрузки информации и функцией ограниченного доступа.

В 2018 г. данное ПО было модернизировано с целью отказа от бумажного документооборота внутри направления и повышения контроля выпускаемой документации.

На данный момент ПО включает в себя широкий спектр автоматизированных функций:

- модуль хранения данных – все выполненные проекты хранятся в соответствии с годом начала проектирования, включая техническую и организационно-распорядительную документацию;
- модуль создания и выдачи заданий – позволяет создавать, направлять и отслеживать всю передаваемую информацию. Обеспечивает логистику и структуризацию документов, контроль исполнения сроков выполнения;

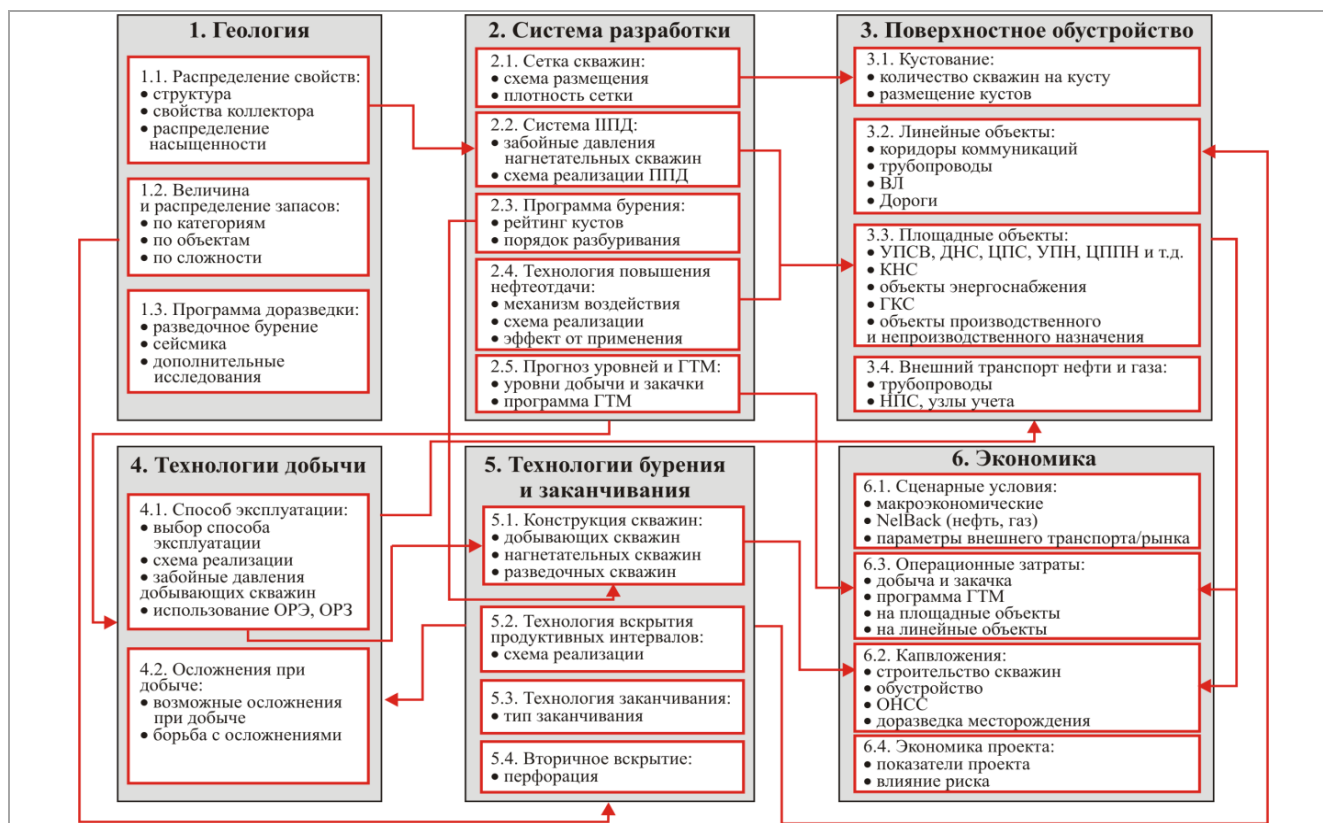


Рис. 5. Схема подготовки концептуального проекта

• модуль согласования документации с заказчиком – проектная документация через системную папку направляется на рассмотрение заказчику непосредственно в ПО, там же происходит процесс согласования. Реализована функция выставления замечаний «красный карандаш». Для каждого проекта предусмотрена возможность переписки исполнителя с представителями заказчика через внутренний чат.

Информационная система Pilot-ICE значительно снизила трудозатраты на выпуск проектной документации, количество «рутинной работы», что позволило выделить время инженерам-проектировщикам на решение оптимизационных задач и модернизацию проектных решений.

ICM 2.0. Данное ПО является продуктом Ingenix Group и модернизированной версией ICM.

С 2015 г. ICM 2.0 используется для расчета технико-экономического обоснования (ТЭО) приоритетных проектов и сравнения стоимостей строительства при многовариантной проработке.

Для адаптации данного ПО понадобилось создание собственной базы данных, основанной на реализованных проектах заказчика.

Модули ICM позволяют на стадии ТЭО моделировать линейные и площадные объекты, основываясь на картографических данных с возможностью применения стоимостных ограничений (выполнение проекта из учета ограниченности капитальных вложений).

3D-моделирование площадных объектов. Применение инструмента 3D-проектирования началось с появления трехмерной съемки объекта, выполненной на стадии комплексных инженерных изысканий в 2017 г.

Разработка модели выполняется комплексом программных продуктов:

- CadLib-модель и архив – сведение модели, структурирование модели, администрирование;
- ModelStudioCS-Трубопроводы – проектирование технологических объектов;
- ModelStudioCS-Строительные решения – проектирование строительных конструкций КЖ КМ;
- ModelStudioCS-Кабельное хозяйство – проектирование кабельных трасс электроснабжения, КИП;

- AutoDesk Civil 3D-генплан, поверхности.

Для ввода в промышленную эксплуатацию было проведено обучение, сформирована рабочая группа специалистов.

Применение трехмерного моделирования позволило снизить срок выпуска проектной документации за счет автоматизированного формирования ортогональных чертежей.

У инженеров-проектировщиков появилась возможность более качественной и детальной проработки ответственных узлов объекта.

С 2019 г. по всем площадочным проектам выполняется 3D-модель.

### Расчет интегрированных моделей системы обустройства

Интегрированная модель представляет собой автономную систему трубопроводов и скважин.

Для построения информативной модели необходимо большое количество исходных данных:

- пластовые исследования;
- показатели разработки;
- геолого-физическая характеристика, свойства пластовой нефти и газа, сведения о запасах нефти и газа по месторождению;
- конструкция добывающих и нагнетательных скважин (эксплуатационная колонна и хвостовик с указанием глубины спуска, толщин стенки, интервалов изменения толщин стенки);
- технологические схемы системы сбора и транспорта нефти, системы поддержания пластового давления (ППД);
- перечень промысловых трубопроводов (с указанием внутреннего диаметра и протяженности трубопровода), проектные профили трубопроводов, техническое диагностирование трубопроводов;
- паспорта погружного оборудования;
- технологический режим работы добывающих и нагнетательных скважин;
- информация о текущих фактических параметрах работы скважин

Интегрированная модель (ИМ) решает следующие производственные задачи:

- оптимизационные расчеты для компенсации недоборов;
- расчеты, выполненные на ИМ на период проведения организационно-технических мероприятий, связанных с остановкой фонда скважин, позволяющие компенсировать потери за счет увеличения дебита по другим скважинам на время проведения организационно-технических мероприятий;
- оптимизация наземного и подземного оборудования;
- расчеты и рекомендации по переводу скважин в ППД (стабилизация падения пластового давления по пластам);
- расчеты и выдача рекомендаций по проведению геолого-технических мероприятий.

Преимущества:

- внедрен комплекс инжиниринговых инструментов;
- разработан регламент.

Недостатки:

- отсутствует синергия всех инструментов в едином информационном пространстве.

Развитие:

- утверждение и доработка регламента;

- создание структурного подразделения «Концептуального проектирования»;
- создания единого информационного пространства;
- развитие модуля 3D-проектирования.

Перечисленные инструменты концептуального проектирования были применены в филиале компании при разработке технико-экономического обоснования Варандей-Адзвинской группы и Командиршорского месторождений.

Для данных приоритетных проектов созданы мультидисциплинарные группы, определен поток исходных данных, согласно регламенту, и осуществлена комплексная оценка.

### Освоение Командиршорской группы месторождений

Для оценки стратегии освоения Командиршорской группы месторождений выполнен пересчет запасов нефти с учетом освоения новых залежей.

На основании технического задания была определена концепция оценки добывных возможностей, которая заключалась в выполнении расчетов проектных уровней добычи по двум вариантам ресурсной базы:

- 1) верхнедевонские залежи Командиршорских месторождений;
- 2) верхнедевонские залежи Командиршорских месторождений с добавлением среднедевонских перспективных отложений и двух участков – Северо-Мишваньского и Симбейского.

Прогнозные уровни оценивались с применением соответствующих вероятностей успехов: P90 «База» – наибольшая вероятность добывных возможностей верхнедевонских залежей Командиршорских месторождений; P50 «Развитие» – вероятность 50 % верхнедевонских и среднедевонских залежей Командиршорских месторождений и двух участков – Северо-Мишваньского и Симбейского – с применением  $K_{\text{подтв}} = 0,423$  профиля добычи к перспективным среднедевонским отложениям и вышеупомянутым участкам; наименьшая вероятность успеха P10 «Развитие ОПЦИЯ» – с максимальными уровнями добычи и набором объектов аналогично варианту P50, но  $K_{\text{подтв}}$  профиля добычи не применялся.

В соответствии с каждой вероятностью определены технологические показатели и построены графики добычи (рис. 6, а).

Для полученных уровней добычи была проведена многовариантная оценка разработки системы сбора, подготовки, транспорта нефти и газа, поддержания пластового давления, электроснабжения с учетом существующей инфраструктуры и ресурсной базы (рис. 7).

В соответствии с исходными данными была разработана блок-схема возможных вариантов сбора, подготовки и транспорта нефти (рис. 8), по каждому из которых в ПО ICM 2.0 и на основании имеющихся удельных показателей рассчитаны проектные мощности и определены экономические показатели (рис. 6, б).

Помимо системы обустройства были проработаны варианты по системе ППД и обеспечению электроснабжения, окончательный вариант определен на основании ресурсной базы для проведения СМР, учитывая территориальные особенности строительства.

По результатам выполнения ТЭО определен вариант с положительной экономической эффективностью со строительством УПН на уровне добычи P10, P50, P90.

Сбор, подготовка и транспорт жидкости – сбор и транспорт НГВЖ на установке подготовки нефти (УПН) «Командиршор» с последующей транспортировкой на терминал «Харьяга» (врезка в МНП «Южное Шапкинское-Харьяга»);

Система ППД – начальный период (до 2029 г.) – подача пластовой воды от ПНС на шурфовую насосную станцию с последующей закачкой в поглощающую скважину, после 2029 г. – централизованная закачка от блочно-компрессорной насосной станции до близлежащих кустов в пределах 5–8 км, излишки в поглощающие скважины, локальная закачка на отдаленных кустах по схеме «высоконапорный электроцентробежный насос в водозаборной скважине – закачка в нагнетательные скважины на кусте».

Система очистки и транспорта газа – газ с УПН «Командиршор» направляется в газопровод «ЦПС Южное-Шапкинское – КС-6», на газокomppressorную станцию КС-6 либо на ЦПС «Южное-Шапкинское» для генерации электроэнергии на существующем энергоблоке.

Источником электроснабжения в рабочем и аварийном режимах является существующая ПС-110/35/6 кВ «В. Ламбейшорская», со строительством ВЛ-35кВ длиной 50 км до приемной понижающей ПС-35/10кВ «Командиршор».

На данный момент проект входит в фазу 2 «Выбор», создается междисциплинарная команда для дальнейшей проработки проектных решений.

### Технико-экономическая оценка Варандей-Адзвинской группы месторождений

В 2019 г. проведена ТЭО стратегии развития Варандей-Адзвинского актива. Выполнен оперативный пересчет запасов и предложены варианты уровней добычей в соответствии с вероятностью реализации.

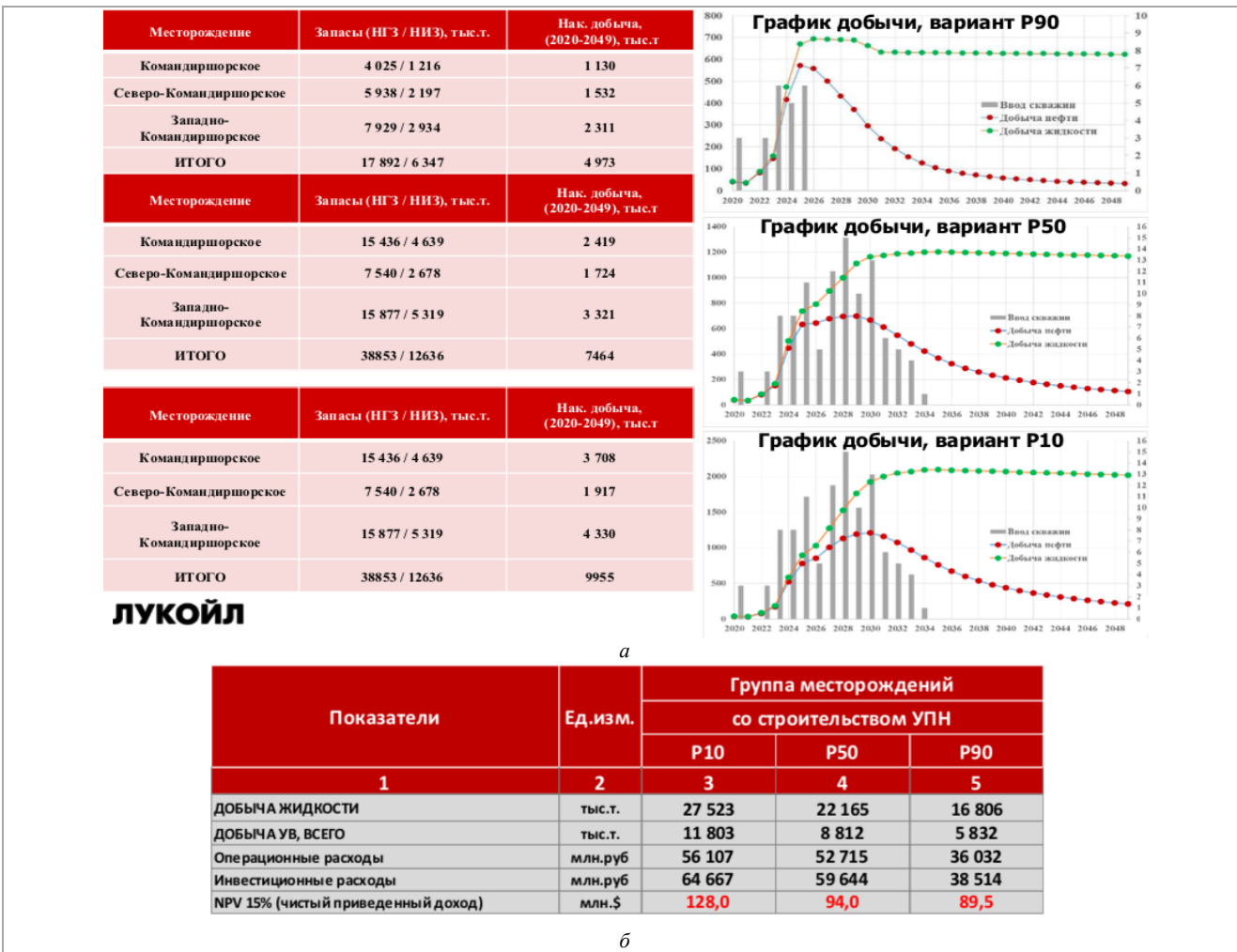


Рис. 6. Показатели: а – технологические, графики добычи для вариантов P90, P50, P10; б – экономической эффективности

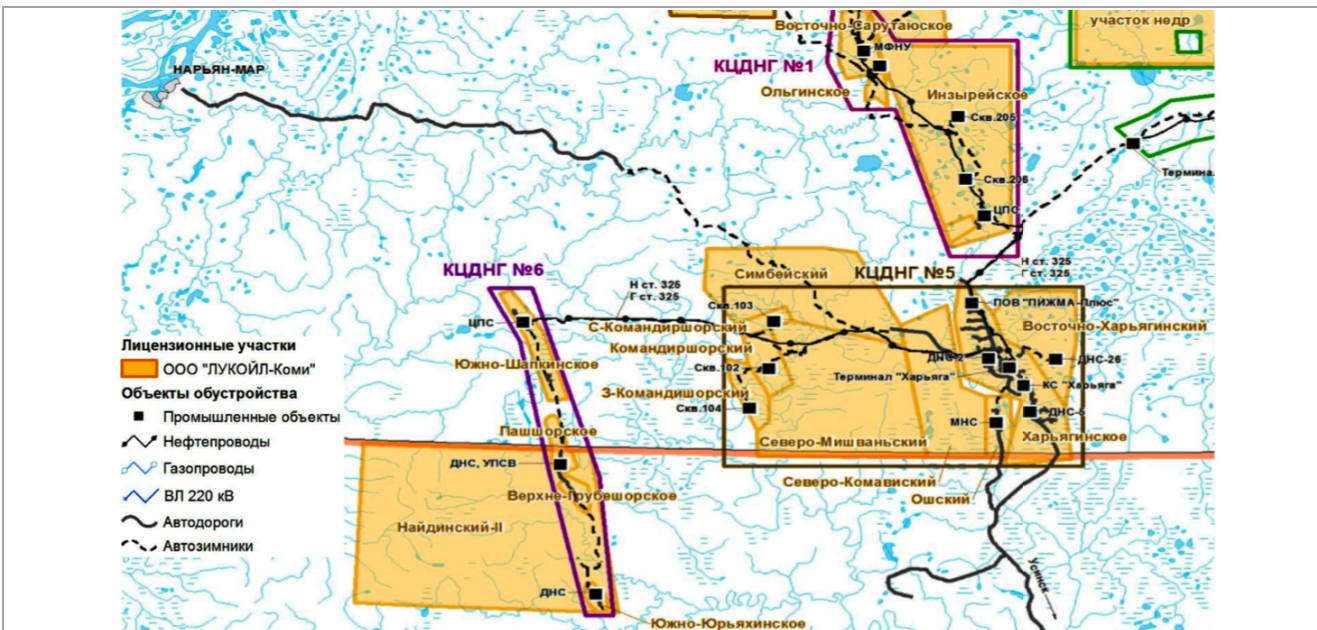


Рис. 7. Существующая инфраструктура

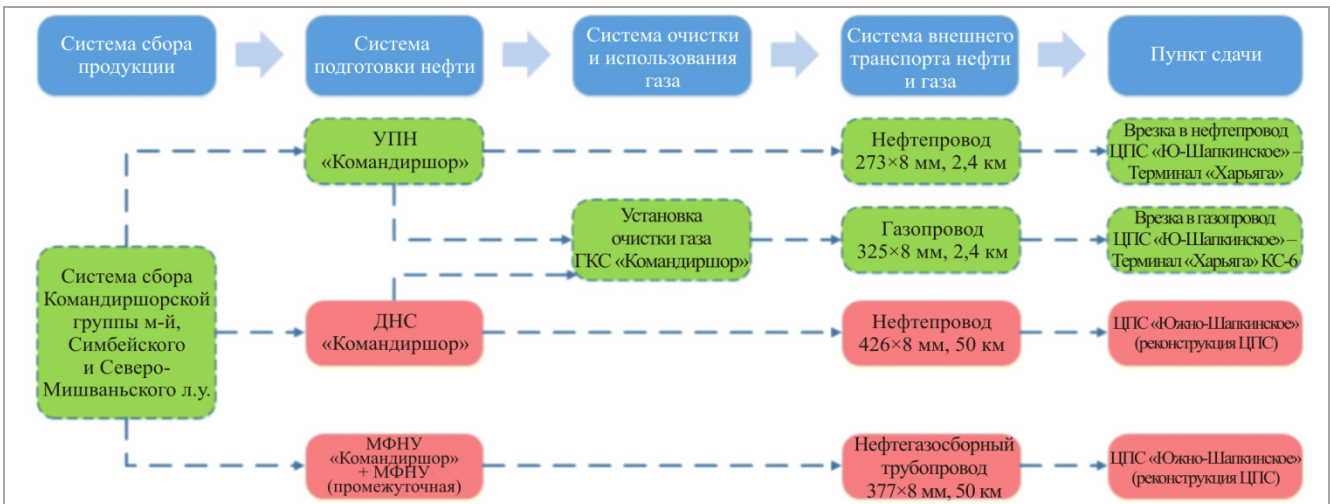


Рис. 8. Варианты сбора, подготовки и транспорта нефти

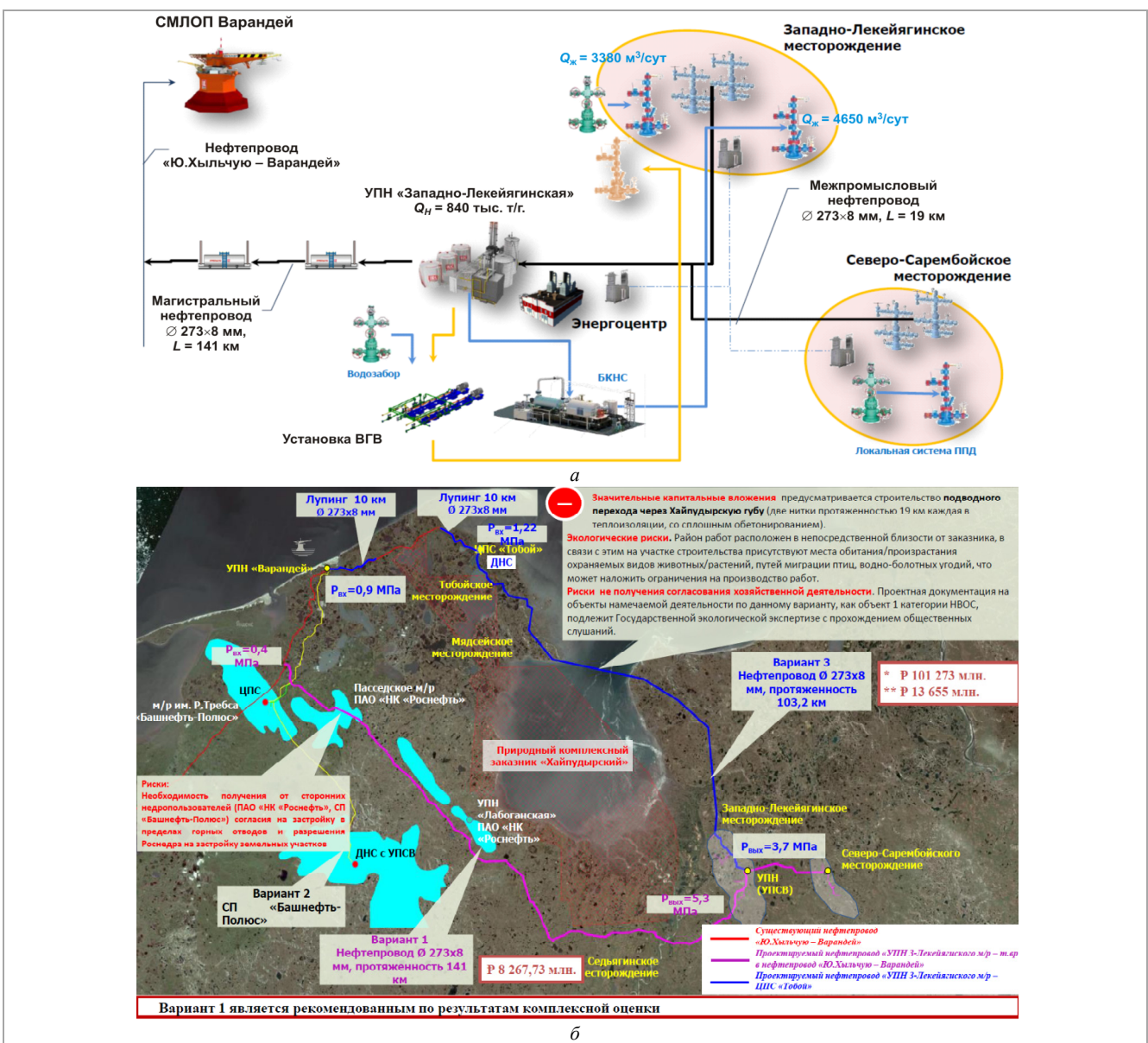


Рис. 9. Стратегия развития Варандей-Адзвинского актива: а – оптимальная блок-схема обустройства; б – варианты внешнего транспорта нефти

Ранжирование инструментов концептуального проектирования по ведущим компаниям нефтегазовой отрасли

Наименование инструмента	Регламент	Информационное пространство / ПО	Концептуальная / интегрированная модель	Модуль картографической привязки	Развитие	Итого
Ingenix Group	0,6	0,8	0,6	1,0	1,0	4,0
ООО «Газпромнефть НТЦ», ООО «Газпромнефть-Развитие»	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	4,8
ООО «РН-УфаНИПИнефть»	1,0	1,0	0,8	0,4	1,0	4,2
ОАО «ТомскНИПИнефть»	1	0	0,8	0	1,0	2,8
Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г.Перми	0,5	0,3	0,8	0,5	1,0	3,1

Междисциплинарной командой разработаны оптимальная блок-схема системы обустройства (рис. 9, а) и варианты внешнего транспорта (рис. 9, б).

Проработка вариантов внешнего транспорта продукции проведена с учетом GSM-модуля в ПО ICM 2.0 (размещение объектов на картографическом материале и оценка капитальных вложений). Определены основные варианты и обозначены риски по ним:

- необходимость получения от сторонних недропользователей (ПАО «НК «Роснефть», СП «Башнефть-Полус») согласия на застройку в пределах горных отводов и разрешения Федерального агентства по недропользованию РФ на застройку земельных участков;

- район работ расположен в непосредственной близости от заказчика, в связи с этим на участке строительства присутствуют места обитания / произрастания охраняемых видов животных / растений, путей миграции птиц, водно-болотных угодий, что может наложить ограничения на производство работ;

- проектная документация на объекты намечаемой деятельности как объект I категории негативного воздействия на окружающую среду. Подлежит Государственной экологической экспертизе с прохождением общественных слушаний. По результатам комплексной оценки, учитывая стоимость реализации и риски, был выбран 1-й вариант (устройство нефтепровода «Установка подготовки нефти № 3 на Западно-Лекейягинском месторождении – точка врезки в нефтепровод «Ю. Хьльчюу – Варандей», Ø 273 × 8 мм, протяженность 141 км). Этот проект ввиду больших капитальных вложений на сегодняшний день не имеет положительного экономического эффекта.

В данный момент проектной командой прорабатываются варианты по реализации этого актива с очередностью последовательного ввода месторождений. В первую очередь рассматривается ввод Северо-Сарембойского месторождения с учетом устройства подготовки нефти и линейных сооружений, следующим этапом обозначен ввод Западно-Лекейягинского месторождения.

**Анализ примененных инструментов концептуального проектирования**

Для систематизации вышеперечисленного анализа применения концептуального подхода в проектировании данные сведены в таблицу с ранжированием по балльной системе, где значения приняты от 0 до 1 в зависимости от проработки и реализации примененных инструментов (таблица).

Анализ данных таблицы свидетельствует, что наиболее успешна стратегия ООО «Газпромнефть НТЦ», так как у них происходит системное развитие концептуального моделирования с наращиванием информации в едином пространстве на основании внутренних регламентирующих документов.

В данный момент в Филиале ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г.Перми происходит доработка регламента предоставления исходных данных от всех профильных направлений. Следующий этап – выбор подрядчиков по разработке отдельных модулей и объединению их в общем информационном пространстве WellInfo.

Данное пространство дает возможность разрабатывать концептуальные модели не только для новых активов, но и для действующих, что позволит принимать оптимизационные решения по разработке и модернизации системы обустройства и поддержания уровня добычи.

Параллельно с созданием информационного пространства, основываясь на опыте разработки ТЭО приоритетных объектов, будут формироваться мультидисциплинарные группы для разработки действующих и новых активов, основанные на методиках системного инжиниринга [40–45].

**Заключение**

В сложившихся макроэкономических условиях очень важно на ранних этапах проектирования оценить эффективность и риски разработки актива.

На сегодняшний день все крупные нефтегазодобывающие компании обладают в полной мере инструментами концептуального инжиниринга для решения этой задачи.

Применение комплексных подходов проектирования не только повышает точность оценки и приводит ее к реальным условиям, но и автоматизирует большой объем рутинной работы, что в свою очередь увеличивает временной ресурс, необходимый концептуальным инженерам для разработки проектных решений.

Разработка методик и регламентов обеспечивает типизацию подходов и возможность создания шаблонных решений задач проектирования.

Но, стоит заметить, большинство инструментов связано с реализацией новых активов, а общепринятых методик, направленных на развитие и поддержание работы действующих месторождений, не разработано.

Данный прогресс необходим, потому что вновь вводимые месторождения зачастую входят в систему обустройства действующего актива, у которого есть ряд крайних технологических параметров, и ввод новых мощностей может полностью парализовать работу системы и добычу нефти.

Для развития стратегии концептуального проектирования необходимо выделять не только финансирование на приобретение различных ПО, но и человеческий и временной ресурсы.

Только грамотно обученная команда разнопрофильных специалистов способна комплексно подходить к решению технологических задач.

Сложившийся опыт при разработке ТЭО Варандей-Адзвинской группы и Командиршорского месторождений позволяет определить дальнейшее развитие стратегии концептуального проектирования в филиале компании, набор и точность необходимой исходной информации, принципы формирования мультидисциплинарной команды. А использование инструментов концептуального проектирования предоставляет возможность в сжатые сроки выполнить оценку разработки активов и получить оптимальные варианты, основанные на комплексной оценке всех факторов.

### Список литературы

1. Робастный подход к логистическому инжинирингу на этапах концептуального проектирования / Н.З. Базылева, Р.А. Панов, А.Ф. Можиль, М.С. Володькин, И.А. Богачев, Н.Д. Шурупов // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 1. – С. 104–108. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-1-104-108

2. Власов А.И., Можиль А.Ф. Обзор технологий: от цифрового к интеллектуальному месторождению // ПРОнефть. – 2018. – № 3 (9). – С. 68–74.

3. Оптимизация капитальных вложений в строительство скважин при концептуальном проектировании разработки месторождений / В.А. Карсаков, С.В. Третьяков, С.С. Девятьяров, А.Г. Пасынков // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 12. – С. 33–35.

4. Повышение точности оценки капитальных вложений на ранних стадиях реализации проектов / М.М. Хасанов, Д.А. Сугаипов, А.В. Жагрин [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 12. – С. 22–27.

5. Абрамова Н.С. Неопределенность и риск в инвестиционном проектировании // Экономические науки. – 2012. – № 1. – С. 139–144.

6. Борисова Д., Соколов С. Повышение отдачи от крупных инвестиционных проектов // Вестник McKinsey. – 2013. – № 28. – С. 6–27.

7. Ансофф И. Стратегический менеджмент. – СПб.: Питер, 2011.

8. Мониторинг стоимости строительства объектов обустройства месторождений на различных стадиях инвестиционного цикла / С.И. Кудряшов, Е.Ю. Белкина, А.Ф. Исмагилов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 11. – С. 72–75.

9. Восстание машины. Почему Boeing 737 MAX убивает людей. – 21.03.2019 [Электронный ресурс]. – URL: <https://ria.ru/20190321/1551968367.html> (дата обращения: 10.02.2020).

10. After 2 Crashes of New Boeing Jet, Pilot Training Now a Focus, The New York Times [Электронный ресурс] / N. Kitroeff, D. Gelles, J. Nicas [et al.]. – URL: <https://www.nytimes.com/2019/03/16/business/boeing-max-flight-simulator-et-hiopia-lion-air.html> (дата обращения: 07.02.2020).

11. Hubble\_Space\_Telescope [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sebokwiki.org/wiki> (дата обращения: 07.02.2020).

12. Батоврин В. Современная системная инженерия и ее роль в управлении проектами (часть 1) // Управление проектами и программами. – 2015. – № 03 (43). – С. 166–178.

13. Системная инженерия. Принципы и практика / А. Косьяков, У.Н. Свит, С.Д. Сеймур, С.М. Бимер. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 624 с.

14. Костенко К., Брезгулевский Е., Мирошниченко Е. Компетенции системного инженера // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIII Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2016. – 515 с.

15. Портер М. Конкурентное преимущество: как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 716 с.

16. Joint optimization of oil well placement and controls / M.C. Bellout, D. Echeverría Ciaurri, L.J. Durlofsky [et al.] // Computational Geosciences. – 2012. – № 16 (4). – P. 1061–1079.

17. Юнусов И.Е. & Применение ГИС-коннектора для концептуального инжиниринга и стоимостного моделирования обустройства нефтегазовых месторождений // Нефть. Газ. Новации. – 2019. – № 9. – С. 51–53.

18. Стоимостной инжиниринг в ПАО «ГАЗПРОМ НЕФТЬ»: текущая ситуация и перспективы развития / М.М. Хасанов, Ю.В. Максимов, О.О. Скударь [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 12. – С. 30–33.

19. Чижиков С.В., Дубовицкая Е.А., Ткаченко М.А. Стоимостное моделирование: инструмент учета изменений // Нефтяное хозяйство. – 2017. – Октябрь. – С. 64–68. DOI: 10.24887/0028-2448-2017-10-64-68

20. Дубовицкая Е.А., Пащенко А.Д., Чижиков С.В. Проблемы оценки затрат на строительство нефтегазовых объектов в России и пути их решения // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 9. – С. 92–95.

21. Бозиева И.А., Зиннатуллин Д.Ф. Аспекты создания корпоративной информационной системы формирования стоимости объектов строительства и обустройства месторождений // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 2. – С. 114–117.

22. Чижиков С.В., Дубовицкая Е.А. Новый подход к оценке и управлению стоимостью нефтегазовых проектов // Нефтяное хозяйство. – 2012. – № 9. – С. 98–101.

23. Опыт реализации базы капитальных вложений по объектам строительства наземной инфраструктуры нефтяных месторождений в ПАО АНК «Вашнефть» / А.Р. Атнагулов, Р.Д. Рахмангулов, П.В. Виноградов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 8. – С. 98–101.

24. Выбор стратегии развития региональной инфраструктуры в условиях неопределенности добычи с использованием программного обеспечения «ЭРА:ИСКРА» / Р.Д. Хамидуллин, Р.Р. Исмагилов, А.В. Кан, Ю.В. Максимов, А.Ф. Можиль, Д.Е. Дмитриев, А.С. Коптелов, Д.Е. Кондаков // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 12. – С. 64–67. DOI: 10.24887/0028-2448-2017-12-64-67

25. Technical Report: Guidance for Decision Quality for Multicompany Up-stream Projects // SPE 181246. – 2016.

26. Интегрированная модель для комплексного управления разработкой и обустройством месторождений / Р.Р. Исмагилов, Ю.В. Максимов, О.С. Ушмаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 12. – С. 71–73.

27. Экономико-математическое решение для построения оптимальной конфигурации линейных систем нефтегазовых месторождений / Р.Р. Исмагилов, Р.А. Панов, Н.З. Гильмутдинова [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 12. – С. 60–63.

28. Техничко-экономическая оптимизация кустования скважин при интегрированном концептуальном проектировании / С.В. Третьяков, Д.Е. Дмитриев, Н.З. Гильмутдинова [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 04. – С. 126–129.

29. Интегрированное концептуальное проектирование как инструмент системного инжиниринга / В.П. Батрашкин, Р.Р. Исмагилов, Р.А. Панов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 12. – С. 80–83.

30. Алексеев А. Умноое ускорение // Сибирская нефть. – 2017. – № 6/143. – С. 22–27.

31. Интеграция концептуального логистического инжиниринга / Р.Р. Исмагилов, Р.А. Панов, А.Ф. Можиль, Н.З. Гильмутдинова, Н.Д. Шурупов, И.А. Богачев // ПРОНефть. – 2018. – № 4. – С. 60–63. DOI: 10.24887/2587-7399-2018-4-60-63

32. Amarin R., Broni-Bediako E. Application of minimum curvature method to wellpath calculations // Res. J. Appl. Sci. Eng. and Technol. – 2010. – № 2 (7). – P. 679–686.

33. Fletcher R., Leyffer S. Nonlinear programming without a penalty function // Mathematical Programming. – 2002. – № 91(2). – P. 239–269. DOI: 10.1007/s101070100244

34. Echeverria Ciaurri D., Isebor O.J., Durlinsky L.J. Application of derivative-free methodologies to generally constrained oil production optimisation problems // International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation. – 2011. – № 2 (2). – P. 134–161. DOI: 10.1016/j.procs.2010.04.145

35. Комплексная автоматизация проектирования объектов обустройства нефтяных и газовых месторождений в ООО «РН-УфаНИИНефть» / Э.Р. Юмашев, К.Р. Хуснутдинова, А.А. Напольский, А.С. Худин // Научно-технический вестник ОАО «НК «РОСНЕФТЬ». – 2007. – №1. – С. 62–66.

36. Макаров Е.Т. Использование разнородной информации в системе управления проектными данными Smartplantfoundation // CADmaster. – 2012. – № 3 (64). – С. 60–63.

37. Выходцев А.В., Каверин А.А. Концептуальное проектирование обустройства и долгосрочное планирование разработки месторождения // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 4. – С. 42–45.

38. Кошовкин И.Н., Кузенков В.З. Трансформация деятельности нефтяных проектных институтов: инжиниринг и концептуальное проектирование // Эко. – 2012. – № 6. – С. 96–102. DOI: 10.30680/ЕСО0131-7652-2012-5-96-102

39. Исмагилов Р.Р., Кудрявцев И.А., Максимов Ю.В. Стадийность концептуального проектирования при разработке месторождений // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 12. – С. 66–70.

40. Vykhodtsev A.V., Panov R.A. Technology of High-Pressure Transport of Multicomponent Hydrocarbon Gases // SPE 163096. – 2012. DOI: 10.2118/163096-RU

41. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK). Версия 1.9.1 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.sebokwiki.org/wiki/Guide\\_to\\_the\\_Systems\\_Engineering\\_Body\\_of\\_Knowledge\\_\(SEBoK\)](https://www.sebokwiki.org/wiki/Guide_to_the_Systems_Engineering_Body_of_Knowledge_(SEBoK)) (дата обращения: 07.02.2020).

42. Honour Eric C. Technical report: Value of Systems Engineering. Lean Aerospace Initiative, 2004. –October.

43. Introduction to Requirements Engineering. REBOK. Requirements Engineering Body of Knowledge. – REQB, 2013.

44. Pennypacker J.S. The Principles of Project Management. – New York: PMI, 1997. – 232 p.

45. Turner J.R. The Handbook of Project-Based Management. – London: McGraw-Hill Companies, 1999. – 414 p.

## References

1. Bazyleva N.Z., Panov R.A., Mozhchil' A.F., Volod'kin M.S., Bogachev I.A., Shurupov N.D. Robastnyĭ podkhod k logisticheskomu inzhiniringu na etapakh kontseptual'nogo proektirovaniia [Robust approach for conceptual and logistic engineering integration]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2019, no. 1, pp. 104-108. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-1-104-108

2. Vlasov A.I., Mozhchil' A.F. Obzor tekhnologii: ot tsifrovogo k intellektual'nomu mestorozhdeniiu [Technology overview: from digital to intelligent field]. *PROneft'*, 2018, no. 3 (9), pp. 68-74. DOI: 10.24887/2587-7399-2018-3-68-74

3. Karsakov V.A., Tretiakov S.V., Deviat'iarov S.S., Pasyukov A.G. Optimizatsiia kapital'nykh vlozhenii v stroitel'stvo skvazhin pri kontseptual'nom proektirovanii razrabotki mestorozhdenii [Drilling cost optimization during conceptual project phase of field development]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2013, no. 12, pp. 33-35.

4. Khasanov M.M., Sugaipov D.A., Zhagrin A.V. et al. Povyshenie tochnosti otsenki kapital'nykh vlozhenii na rannikh stadiiakh realizatsii proektov [Improvement of capex estimation accuracy during early project stages]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2014, no. 12, pp. 22-27.

5. Abramova N.S. Neopredelennost' i risk v investitsionnom proektirovanii [Uncertainty and risk in investment planning]. *Ekonomicheskie nauki*, 2012, no. 1, pp. 139-144.

6. Borisova D., Sokolov S. Povyshenie otдачи ot krupnykh investitsionnykh proektov [Increasing returns on large investment projects]. *Vestnik McKinsey*, 2013, no. 28, pp. 6-27.

7. Ansoff I. Strategicheskiĭ menedzhment [Strategic management]. Saint Petersburg: Piter, 2011.

8. Kudriashov S.I., Belkina E.Iu., Ismagilov A.F. et al. Monitoring stoimosti stroitel'stva ob'ektov obustroistva mestorozhdenii na razlichnykh stadiiakh investitsionnogo tsikla [Cost monitoring in oilfield construction at different stages of the investment cycle]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2015, no. 11, pp. 72-75.

9. Vosstanie mashiny. Pochemu Boeing 737 MAX ubivaet liudei. 21.03.2019 [Rise of the machine. Why the Boeing 737 MAX is killing people. 03/21/2019], available at: <https://ria.ru/20190321/1551968367.html> (accessed 10 February 2020).

10. Kitroeff N., Gelles D., Nicas J. et al. After 2 Crashes of New Boeing Jet, Pilot Training Now a Focus, The New York Times, available at: <https://www.nytimes.com/2019/03/16/business/boeing-max-flight-simulator-et-hiopia-lion-air.html> (accessed 07 February 2020).

11. Hubble Space Telescope, available at: <https://www.sebokwiki.org/wiki> (accessed 07 February 2020).

12. Batovrin V. Sovremennaia sistemnaia inzheneriia i ee rol' v upravlenii proektami (chast' 1) [Modern systems engineering and its role in project management (part 1)] *Upravlenie proektami i programmami*, 2015, no. 03 (43), pp. 166-178.

13. Kosiakov A., Svit U.N., Seimur S.D., Bimer S.M. Sistemnaia inzheneriia. Printsipy i praktika [Systems Engineering. Principles and practice]. Moscow: DMK Press, 2014, 624 p.

14. Kostenko K., Brezgulevskii E., Miroshnichenko E. Kompetentsii sistemnogo inzhenera [System Engineer Competencies]. *Molodezh' i sovremennye informatsionnye tekhnologii. Sbornik trudov XIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh*. Tomsk, 2016, 515 p.

15. Porter M. Konkurentnoe preimushchestvo: kak dostich' vysokogo rezul'tata i obespechit' ego ustoichivost' [Competitive advantage: how to achieve high results and ensure its sustainability]. Moscow: Al'pina Biznes Buks, 2005, 716 p.



16. Bellout M.C., Echeverría Ciarri D., Durlofsky L.J. et al. Joint optimization of oil well placement and controls. *Computational Geosciences*, 2012, no. 16 (4), pp. 1061-1079.
17. Iunusov I.E. Primenenie GIS-konnektora dlia kontseptual'nogo inzhiniringa i stoimostnogo modelirovaniia obustroistva neftegazovykh mestorozhdenii [Application of Well Log Data Connector for Conceptual Engineering and Value Engineering for Oil and Gas Field Construction]. *Neft' Gaz. Novatsii*, 2019, no. 9, pp. 51-53.
18. Khasanov M.M., Maksimov Iu.V., Skudar' O.O. et al. Stoimostnoi inzhiniring v PAO «GAZPROM NEFT'»: tekushchaia situatsiia i perspektivy razvitiia [Cost engineering in Gazprom Neft PJSC: current situation and future development]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2015, no. 12, pp. 30-33.
19. Chizhikov S.V., Dubovitskaia E.A., Tkachenko M.A. Stoimostnoe modelirovanie: instrument ucheta izmenenii [Costs modeling: support point in a changing world]. *Neftianoe khoziaistvo*, October 2017, no. 10, pp. 64-68. DOI: 10.24887/0028-2448-2017-10-64-68
20. Dubovitskaia E.A., Pashchenko A.D., Chizhikov S.V. Problemy otsenki zatrat na stroitel'stvo neftegazovykh ob'ektov v Rossii i puti ikh resheniia [Problems and proposed solutions for oil and gas projects cost estimation in Russia]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2013, no. 9, pp. 92-95.
21. Bozieva I.A., Zinnatullin D.F. Aspekty sozdaniia korporativnoi informatsionnoi sistemy formirovaniia stoimosti ob'ektov stroitel'stva i obustroistva mestorozhdenii [Aspects of corporate information system development to generate the costs of construction facilities and oil and gas fields infrastructure development]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2016, no. 2, pp. 114-117.
22. Chizhikov S.V., Dubovitskaia E.A. Novyi podkhod k otsenke i upravleniiu stoimost'iu neftegazovykh proektov [A new approach to the assessment and management of oil and gas projects cost]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2012, no. 9, pp. 98-101.
23. Atnagulov A.R., Rakhmangulov R.D., Vinogradov P.V. et al. Opyt realizatsii bazy kapital'nykh vlozhenii po ob'ektam stroitel'stva nazemnoi infrastruktury neftiannykh mestorozhdenii v PAO ANK "Bashneft" [Developing capex database for oil field surface facilities construction at Bash-neft PJSC]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2015, no. 8, pp. 98-101.
24. Khamidullin R.D., Ismagilov R.R., Kan A.V., Maksimov Iu.V., Mozhchil' A.F., Dmitriev D.E., Koptelov A.S., Kondakov D.E. Vybora strategii razvitiia regional'noi infrastruktury v usloviakh neopredelennosti dobychi s ispol'zovaniem programmnoho obespecheniia "ERA:ISKRA" [Choosing a strategy for the development of regional infrastructure in conditions of production uncertainty using the ERA: ISKRA software]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2017, no. 12, pp. 64-67. DOI: 10.24887/0028-2448-2017-12-64-67
25. Technical Report: Guidance for Decision Quality for Multicompany Up-stream Projects. *SPE 181246*, 2016.
26. Ismagilov R.R., Maksimov Iu.V., Ushmaev O.S. et al. Integrirovannaia model' dlia kompleksnogo upravleniia razrabotkoii i obustroistvom mestorozhdenii [Integrated model for complex management of reservoir engineering and field construction]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2014, no. 12, pp. 71-73.
27. Ismagilov R.R., Panov R.A., Gil'mutdinova N.Z. et al. Ekonomiko-matematicheskoe reshenie dlia postroeniia optimal'noi konfiguratsii lineinykh sistem neftegazovykh mestorozhdenii [Economic-mathematical modelling of optimal pipeline configuration]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2015, no. 12, pp. 60-63.
28. Tref'akov S.V., Dmitriev D.E., Gil'mutdinova N.Z. et al. Tekhniko-ekonomicheskaiia optimizatsiia kustovaniia skvazhin pri integrirovannom kontseptual'nom proektirovanii [The integrated conceptual design as a tool of systematic engineering]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2016, no. 04, pp. 126-129.
29. Batrashkin V.P., Ismagilov R.R., Panov R.A. et al. Integrirovannoe kontseptual'noe proektirovanie kak instrument sistemnogo inzhiniringa [The integrated conceptual design as a tool of systematic engineering]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2016, no. 12, pp. 80-83.
30. Alekseev A. Umnoe uskorenie [Smart acceleration]. *Sibirskaiia neft'*, 2017, no. 6/143, pp. 22-27.
31. Ismagilov R.R., Panov R.A., Mozhchil' A.F., Gil'mutdinova N.Z., Shurupov N.D., Bogachev I.A. Integratsiia kontseptual'nogo logisticheskogo inzhiniringa [Integration of logistics and conceptual design theses]. *PRONeft'*, 2018, no. 4, pp. 60-63. DOI: 10.24887/2587-7399-2018-4-60-63
32. Amorin R., Broni-Bediako E. Application of minimum curvature method to wellpath calculations. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 2010, no. 2 (7), pp. 679-686.
33. Fletcher R., Leyffer S. Nonlinear programming without a penalty function. *Mathematical Programming*, 2002, no. 91 (2), pp. 239-269. DOI: 10.1007/s101070100244
34. Echeverría Ciarri D., Isebor O.J., Durlofsky L.J. Application of derivative-free methodologies to generally constrained oil production optimisation problems. *International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation*, 2011, no. 2 (2), pp. 134-161. DOI: 10.1016/j.procs.2010.04.145
35. Iumashev E.R., Khusnutdinova K.R., Napol'skii A.A., Khudin A.S. Kompleksnaia avtomatizatsiia proektirovaniia ob'ektov obustroistva neftiannykh i gazovykh mestorozhdenii v OOO "RN-UfaNIPineft'" [Complex automation of the design of facilities for the development of oil and gas fields in RN-UfaNIPineft' LLC]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik OAO "NK "ROSNEFT'"*, 2007, no. 1, pp. 62-66.
36. Makarov E.T. Ispol'zovanie raznorodnoi informatsii v sisteme upravleniia proektnymi dannymi Smartplantfoundation [Using heterogeneous information in the project data management system Smartplantfoundation]. *CADmaster*, 2012, no. 3 (64), pp. 60-63.
37. Vykhodtsev A.V., Kaverin A.A. Kontseptual'noe proektirovanie obustroistva i dolgosrochnoe planirovanie razrabotki mestorozhdeniia [Conceptual design and long-term planning of oil and gas fields development]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2016, no. 4, pp. 42-45.
38. Koshovkin I.N., Kuzenkov V.Z. Transformatsiia deiatel'nosti neftiannykh proektnykh institutov: inzhiniring i kontseptual'noe proektirovanie [Transformation of the activities of petroleum design institutes: engineering and conceptual design]. *Eko*, 2012, no. 6, pp. 96-102. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2012-5-96-102
39. Ismagilov R.R., Kudriavtsev I.A., Maksimov Iu.V. Stadiinost' kontseptual'nogo proektirovaniia pri razrabotke mestorozhdenii [Phases of conceptual design for field development]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2014, no. 12, pp. 66-70.
40. Vykhodtsev A.V., Panov R.A. Technology of High-Pressure Transport of Multicomponent Hydrocarbon Gases. *SPE 163096*, 2012. SPE Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical Conference and Exhibition, 16-18 October, Moscow, Russia. DOI: 10.2118/163096-RU
41. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK). Versiia 1.9.1, available at: [https://www.sebokwiki.org/wiki/Guide\\_to\\_the\\_Systems\\_Engineering\\_Body\\_of\\_Knowledge\\_\(SEBoK\)](https://www.sebokwiki.org/wiki/Guide_to_the_Systems_Engineering_Body_of_Knowledge_(SEBoK)) (accessed 07 February 2020).
42. Honour Eric C. Technical report: Value of Systems Engineering. Lean Aerospace Initiative, 2004, October.
43. Introduction to Requirements Engineering. REBOK. Requirements Engineering Body of Knowledge. REQB, 2013.
44. Pennypacker J.S. The Principles of Project Management. New York: PMI, 1997, 232 p.
45. Turner J.R. The Handbook of Project-Based Management. London: McGraw-Hill Companies, 1999, 414 p.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Кельберг К.Э., Лядова Н.А. Анализ применения инструментов концептуального инжиниринга при проектировании системы обустройства активов // Недропользование. – 2020. – Т.20, №3. – С.253–269. DOI: 10.15593/2712-8008/2020.3.6

Please cite this article in English as:

Kelberg K.E., Lyadova N.A. Analysis of Conceptual Engineering Tools Application of in Assets Arrangement System Designing. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2020, vol.20, no.3, pp.253-269. DOI: 10.15593/2712-8008/2020.3.6