Интеграция технологических и экономических данных в информационной системе поддержки принятия решений (ИСППР) для формирования плана ввода и реконструкции газодобывающих мощностей

Ковалёв С.Н.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

E-mail: kovalev.stanislav.1989@yandex.ru

Нестерук Л.Г.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

E-mail: lgnesteruk@etu.ru

***Аннотация*. Предложен подход к интеграции технологических и экономических данных в информационной системе поддержки принятия решений при формировании плана ввода и реконструкции газодобывающих мощностей. Основой служит версионируемый расчётный пакет, связывающий производственный прогноз, календарь мероприятий и денежные потоки. Формализованы логические условия комплектности и непротиворечивости пакета, ограничения выбора вариантов и порядок проверки воспроизводимости. Разграничены допустимость исходных данных и экономическая целесообразность мероприятия. Определены условия применения подхода и показатели его последующей апробации.**

Ключевые слова: ИСППР; интеграция данных; газодобывающие мощности; реконструкция; инвестиционное планирование; качество данных

I. Введение

Формирование плана ввода и реконструкции газодобывающих мощностей требует согласованного рассмотрения пласта, скважин, сети сбора и наземной инфраструктуры. Для газовых и газоконденсатных объектов взаимовлияние этих элементов учитывается средствами интегрированного моделирования; детализация модели должна соответствовать этапу проекта, доступной информации и решаемой задаче [1]. Упрощённые модели могут дополнять детальные при оперативных многовариантных расчётах, но требуют сопоставления результатов и проверки границ применимости [2]. Следовательно, производственный прогноз нельзя рассматривать отдельно от конфигурации оборудования и календаря мероприятий.

В отраслевых исследованиях представлены программные решения, связывающие технологическую и финансово-экономическую модели [3], а также методы актуализации отдельных расчётов газоконденсатных месторождений [4]. Вместе с тем при передаче результатов между подразделениями необходимо обеспечить сопоставимость версий, периодов, единиц и экономических предпосылок. Цель настоящей работы состоит в формализации такого согласования в информационной системе поддержки принятия решений (далее: ИСППР). Предлагается авторская модель расчётного пакета с логическим допуском к оценке и отбору мероприятий; она не заменяет физические модели и не предполагает доказанного эффекта внедрения.

II. Основная часть

A. *Расчётный пакет и интеграция данных*

В предлагаемой ИСППР единицей интеграции является не отдельная таблица, а зафиксированный набор входов, правил и результатов для конкретного варианта. Расчётный пакет представляется выражением (1).

$$P=(D,M,\Theta,L),\quad k=(o,a,v,s,t,p)\in K_M. \tag{1}$$

Здесь D содержит записи; M задаёт паспорт; Θ фиксирует преобразования; L сохраняет происхождение значений. Составной ключ k объединяет объект o, мероприятие a, вариант v, сценарий s, период t и показатель p. Непустое множество K_M определяет обязательные позиции пакета. Паспорт закрепляет базовый сценарий без мероприятия, версии источников и моделей, сроки, единицы, детализацию, валюту, ценовые и налоговые предпосылки, условия приведения объёмов газа. Каждое значение получает дату актуальности и статус «факт», «прогноз» либо «экспертная оценка».

Такое представление отделяет технологический вариант от его экономической интерпретации. Технологический блок передаёт профили добычи, загрузку оборудования, ограничения сети и остановки; календарный блок связывает работы с вводом мощности; экономический блок определяет инвестиционные платежи, эксплуатационные затраты, цены и налоги. Варианты реконструкции сопоставляются с одним базовым прогнозом, поэтому сохранение добычи относительно её ожидаемого снижения также может формировать эффект. Конфигурация производственной модели фиксируется в паспорте: выбор упрощённого расчёта не должен скрыто менять содержание сравниваемого варианта. Необходимость учитывать

уровень детализации и ограничения моделей подтверждается исследованиями [1, 2, 4].

В архитектуре ИСППР предлагается разграничить приём исходных данных, их нормализацию, проверку и расчёт альтернатив. Исходные выгрузки сохраняются без изменения. Таблицы соответствия связывают локальные идентификаторы объектов и мероприятий с единым ключом; правила преобразования определяют единицы, временной шаг и основания измерения. Нормализованные записи поступают в хранилище версий, после чего формируется протокол допуска. Экономическая модель получает только зафиксированный пакет, а результат сохраняет ссылку на его версию. Подобная организация развивает идею программного объединения процессов моделирования [3], но конкретная структура пакета и порядок допуска в данной работе являются авторским предложением.

Происхождение показателя задаётся цепочкой «источник, исходное значение, преобразование, результат». Для агрегированного показателя сохраняются ссылки на все входящие записи. Суммирование применяется к объёмам за непересекающиеся периоды; показатели состояния, удельные величины и цены требуют иных правил, закреплённых в паспорте. Смена сценария или срока ввода создаёт новую версию, а не перезаписывает утверждённые входы. Это позволяет отдельно установить, обусловлено ли изменение экономического результата новым прогнозом, календарём, ценой или исправлением ошибки.

B. Логический контроль качества

Оценка качества данных, исправление дефектов и мониторинг изменений рассматриваются как разные операции, что соответствует разграничению этих функций в обзоре [5]. В предлагаемой модели контроль качества выражается системой логических условий, а не перечнем рекомендаций. Пусть J_M является непустым набором обязательных проверок, а $q_j(P)$ принимает значения «выполнено», «нарушено», «не установлено». Допуск задаётся условием (2), где T обозначает только подтверждённое выполнение.

$$\mathrm{Adm}(P)=1 \;\Leftrightarrow\; \forall\, j\in J_M:\; q_j(P)=\mathrm{T}. \tag{2}$$

Комплектность, уникальность, согласованность и происхождение проверяются системой (3).

$$\begin{aligned}
&\forall\, k\in K_M:\; \exists!\; d\in D:\\
&\mathrm{key}(d)=k,\; x_d\neq \mathrm{NA};\\
&\forall\, d\in D:\; (\mathrm{key}(d)\in K_M)\wedge B(d)\wedge L(d);\\
&B(d):\; u_d=u_p^{0},\; g_d=g_p^{0},\\
&s_d=s_M,\; \beta_d=\beta_{M,p},\; \nu_d=\nu_{M,d}.
\end{aligned} \tag{3}$$

Обозначение NA означает отсутствующее значение, отличное от нуля. Предикат B проверяет единицы u, детализацию g, сценарий s, основания измерения β и набор версий ν. Надстрочный индекс нуль и индекс M обозначают требования паспорта. Предикат L(d) подтверждает непрерывную цепочку происхождения записи. Проверка версии означает совпадение с зафиксированной в паспорте, а не обязательное использование самой новой версии из доступных. Введённое ограничение на ключи относится к нормализованным расчётным записям D; вспомогательные файлы и метаданные сохраняются вне этого множества.

Система (3) не допускает молчаливой подстановки нулей вместо пропусков и объединения несовместимых сценариев. Если исходный аргумент неизвестен, результат соответствующей проверки получает значение «не установлено». По условию (2) такой пакет блокируется наравне с пакетом, содержащим выявленное нарушение, но причина блокировки отражается отдельно. Пороговые значения и перечень обязательных проверок утверждаются до сравнения альтернатив; их последующее изменение также версионируется.

Числовая непротиворечивость проверяется системой (4).

$$\begin{aligned}
&-\kappa_j\le h_j(D)\le\kappa_j,\\
&\kappa_j=\epsilon_j^{\mathrm{a}}+\epsilon_j^{\mathrm{r}}b_j(D),\\
&g_l(D)\le 0,\;\; b_j(D)\ge 0.
\end{aligned} \tag{4}$$

Здесь h_j представляет невязку равенства, g_l задаёт ограничение, b_j определяет неотрицательный масштаб, κ_j задаёт допустимую величину невязки. Абсолютный допуск ε^{a} и масштаб соразмерны невязке, относительный допуск ε^{r} безразмерен; оба допуска неотрицательны и задаются заранее. Это отделяет допустимые вычислительные расхождения от содержательных противоречий. Проверки идентификаторов и версий выполняются точно, без числовых допусков.

Предметные связи производственного прогноза, календаря и затрат задаются условиями (5).

$$\begin{aligned}
&Q_{ivt}^{\mathrm{new}}=0\;\; (t<\tau_{iv}),\\
&\nu_{\mathrm{used}}^{\mathrm{mod}}=\nu_M^{\mathrm{mod}},\\
&I_{ivt}=\sum_{l\in W_{iv}} c_{lt},\\
&\sum_{i,v}\alpha_{iv,lt}=1,\;\; \alpha_{iv,lt}\ge 0.
\end{aligned} \tag{5}$$

Здесь τ задаёт момент ввода, Q^{new} обозначает выпуск новой мощности, ν^{mod} объединяет версии производственного прогноза и календаря; W_{iv} содержит непересекающиеся статьи инвестиционных платежей c, включая распределённые доли общих затрат α. Распределение каждого общего расхода проверяется по вариантам, включённым в совместный расчёт, а не по всем взаимоисключающим альтернативам. Объём выпуска до ввода равен нулю, однако отрицательное изменение добычи во время остановочных работ при реконструкции допустимо. Поэтому ограничение Q^{new} не переносится на весь прирост добычи.

Условия (4), (5) входят в набор проверок J_M. В протоколе сохраняются идентификатор правила, проверенные записи, фактическая невязка, допустимый порог и статус. Например, при переносе ввода без пересчёта профиля добычи проверка календарной связи должна блокировать пакет, даже если итоговая экономическая оценка остаётся положительной. Исправление создаёт новую версию с сохранением исходных значений и основания изменения. Повторный запуск на неизменных входах, версиях моделей и правилах должен воспроизводить результат.

C. *Связь данных с формированием плана*

Допущенные пакеты преобразуются в экономическую оценку по цепочке «производственный эффект, денежный поток, чистая приведённая стоимость». Использование дисконтированных денежных потоков и согласование периода расчёта со ставкой относятся к методической основе оценки нефтегазовых проектов [6]. Для мероприятия i, варианта v и периода t предлагается расчётная схема (6).

$$\begin{aligned}
&\Delta Q_{ivt} = Q^{\mathrm{proj}}_{ivt} - Q^{\mathrm{base}}_{it},\\
&\Delta \mathrm{CF}_{ivt} = \Delta R_{ivt} - \Delta O_{ivt}\\
&\qquad - \Delta I_{ivt} - \Delta N_{ivt} - \Delta W_{ivt},\\
&\mathrm{NPV}_{iv} = \sum_{t=0}^{T} \Delta \mathrm{CF}_{ivt}/(1+r)^{t}.
\end{aligned} \tag{6}$$

Прирост ΔQ определяется относительно базового прогноза без мероприятия и включает дополнительную добычу либо предотвращённое снижение. Производственная модель учитывает инфраструктурные ограничения и остановки; её компоненты должны рассчитываться согласованно [1, 2]. Величина ΔCF объединяет изменения выручки R, эксплуатационных затрат без налогов O, инвестиционных платежей I, налогов N и вложений в оборотный капитал W. Последние задаются разностью периодических изменений потребности, а не накопленных остатков. Статьи денежного потока не пересекаются; горизонт T, ставка r, длительность периода и вид цен согласуются. NPV обозначает чистую приведённую стоимость.

Схема (6) обеспечивает прослеживаемость результата до входных предпосылок. Перенос ввода должен изменять не только календарь инвестиций, но и доступность мощности, производственный профиль и связанные денежные потоки. Цена газа преобразует реализуемый объём в выручку с учётом принятых условий реализации; технологические расходы и налогообложение определяются отдельными зависимостями. Тем самым сопоставляются целостные варианты, а не сочетания выгодного производственного прогноза с несогласованной оценкой затрат.

Для независимых эффектов формирование плана задаётся максимизацией суммарной NPV при ограничениях (7).

$$\begin{aligned}
&\sum_{i,v} \mathrm{NPV}_{iv}\, y_{iv} \to max,\\
&\sum_{i,v} I_{ivt}\, y_{iv} \le B_t,\ \sum_{v} y_{iv} \le 1,\\
&y_{iv} \le \mathrm{Adm}(P_{iv}),\\
&H(y) \le 0,\ y_{iv} \in \{0,1\}.
\end{aligned} \tag{7}$$

Бинарная переменная y_{iv} означает включение варианта, B_t задаёт бюджет периода, H объединяет технологические зависимости и совместимость; сроки фиксируются в вариантах. Ограничения (7) запрещают выбирать несколько взаимоисключающих вариантов одного мероприятия и использовать недопущенный пакет. Технологическая зависимость может требовать предварительного ввода обеспечивающего объекта, даже если его отдельная NPV отрицательна. Поэтому индивидуальное ранжирование по экономическому показателю не заменяет совместного отбора.

При взаимозависимости мероприятий используется общий производственный прогноз и совместный денежный поток вместо суммы индивидуальных эффектов. В частности, прирост пропускной способности общего узла нельзя повторно учитывать в каждом проекте, использующем этот узел. Распределение общих затрат должно сохранять полную сумму расходов без дублирования. Допустимость данных при этом не означает привлекательности проекта: логически корректный пакет может описывать экономически неэффективное мероприятие.

Потенциал ИСППР для крупной нефтегазовой компании в предложенной постановке связан с повторным использованием согласованных пакетов подразделений, ранним выявлением противоречий и пересчётом зависимых показателей. Апробацию предлагается проводить на одинаковых снимках данных при неизменной модели оценки. Сравниваются время подготовки пакета, воспроизводимость, доля обнаруженных экспертно подтверждённых дефектов и доля подтверждённых срабатываний среди всех срабатываний. Время организационного согласования учитывается отдельно от машинного расчёта; экономический эффект не подменяется сокращением технического времени обработки.

III. Заключение

Предложена проверяемая связь «технический вариант, расчётный пакет, денежный поток, план». Основной методический результат состоит в совместной фиксации происхождения данных, условий логического допуска и ограничений выбора мероприятий. Это создаёт основу для воспроизводимого сравнения вариантов ввода и реконструкции газодобывающих мощностей без смешения сценариев, версий и экономических предпосылок.

Формальный допуск не доказывает достоверности производственного прогноза. Сходное разграничение машинно проверяемого соответствия и достоверности данных отражено в ISO 8000-110:2021 применительно к обмену основными данными [7]. Предлагаемая модель не заявляется реализацией этого стандарта; её границы определяются полнотой зависимостей и правил. Практическая результативность ИСППР требует апробации на материалах компании; измеренные показатели внедрения в настоящей работе не приводятся.

Список литературы

[1] Варавва А.И., Апасов Р.Т., Бадгутдинов Р.Р., Ямалетдинов А.Ф., Корякин Ф.А., Сандалова Е.Е., Самоловов Д.А., Бикбулатов С.М., Нехаев С.А. Иерархия интегрированных моделей. Применение интегрированного моделирования различной степени сложности на всех этапах жизненного цикла газоконденсатных проектов // PROНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2022. Т. 7, № 2. С. 41–51. DOI: 10.51890/2587-7399-2022-7-2-41-51. URL: https://proneft.elpub.ru/jour/article/view/346 (дата обращения: 12.11.2026).

[2] Падин Е.А., Юшков А.Ю. Новые подходы к упрощению интегрированных моделей // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2023. Т. 9, № 4 (36). С. 108–127. URL: https://doi.org/10.21684/2411-7978-2023-9-4-108-127 (дата обращения: 12.11.2026).

[3] Ходаков И.О., Ахмедшин Т.Р., Белоногов Е.В., Платон Д.Н., Картавцева И.А., Боярский С.В., Афанасьев А.А. Разработка программных решений для повышения качества и эффективности интегрированного моделирования // PROНЕФТЬ.

Профессионально о нефти. 2022. Т. 7, № 1. С. 144–151. DOI: 10.51890/2587-7399-2022-7-1-144-151. URL: https://proneft.elpub.ru/jour/article/view/96 (дата обращения: 12.11.2026).

[4] Кулагин А.В., Варавва А.И., Торопов Е.С. Оптимизация и актуализация алгоритма расчета интегрированных моделей газоконденсатных месторождений // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2023. Т. 9, № 3 (35). С. 46–65. URL: https://doi.org/10.21684/2411-7978-2023-9-3-46-65 (дата обращения: 12.11.2026).

[5] Ehrlinger L., Wöß W. A Survey of Data Quality Measurement and Monitoring Tools // Frontiers in Big Data. 2022. Vol. 5. Art. 850611. URL: https://doi.org/10.3389/fdata.2022.850611 (дата обращения: 12.11.2026).

[6] Ахмедова Т.М. Критерии оценки инвестиционных проектов в нефтегазодобывающей промышленности и их характерные особенности // Креативная экономика. 2021. Т. 15, № 5. С. 2201–2226. URL: https://doi.org/10.18334/ce.15.5.112089 (дата обращения: 12.11.2026).

[7] ISO 8000-110:2021. Data quality. Part 110: Master data: Exchange of characteristic data: Syntax, semantic encoding, and conformance to data specification. 2nd ed. 2021. 20 p. URL: https://www.iso.org/standard/78501.html (дата обращения: 12.11.2026).