

Комплексная оценка эффективности нефтяных скважин с ЭЦН на основе DEA*

Comprehensive DEA-Based Assessment of ESP Oil Well Efficiency

И. МАКАРОВ

Макаров Иван Владимирович, аспирант кафедры статистики и бизнес-информатики ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий». E-mail: makarov.uust@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается комплексный подход к оценке эффективности эксплуатации нефтяных скважин, оборудованных электроцентробежными насосами (ЭЦН), на основе методов Data Envelopment Analysis (DEA) и Super-DEA. Исследование выполнено на данных одного из крупнейших месторождений Республики Башкортостан за 2022–2025 годы, которые включают более 40 тыс. наблюдений по 1399 скважинам. Применение DEA позволило оценить техническую эффективность скважин и определить целевые режимы работы ЭЦН при сохранении заданных уровней добычи. Средний уровень эффективности скважин находится в диапазоне 0,91–0,96 и демонстрирует положительную динамику во времени. Экономическая оценка показала, что оптимизация режимов работы ЭЦН может обеспечить потенциальную экономию затрат до 80–90 млн руб. в месяц.

Ключевые слова: DEA, Super-DEA, электроцентробежные насосы, ЭЦН, эффективность скважин, энергопотребление.

Abstract. This paper proposes a comprehensive approach to evaluating the operational efficiency of oil wells equipped with electric submersible pumps (ESP) based on Data Envelopment Analysis (DEA) and Super-DEA methods. The study is based on data from an oilfield in the Republic of Bashkortostan for 2022–2025, comprising more than 40,000 observations across 1,399 wells. The DEA model was applied to assess technical efficiency and to determine target operating regimes while maintaining the required production levels. The average efficiency ranged from 0.91 to 0.96, with a positive trend observed over time. The economic assessment indicates that optimization of ESP operating regimes can potentially reduce costs by up to 80–90 million rubles per month.

Key words: DEA, Super-DEA, electric submersible pumps, ESP, operational efficiency, energy efficiency.

Введение

Разработка нефтяных месторождений в России преимущественно ведётся с использованием электроцентробежных насосов (ЭЦН), доля которых в структуре механизированной добычи, по данным отраслевой статистики за 2023–2024 гг., превышает 85 % [3; 5]. При этом затраты на электроэнергию могут достигать 40–60 % себестоимости добычи [1; 4]. На практике частота работы ЭЦН нередко задаётся с избыточным запасом (как правило, на 1–3 Гц выше необходимого уровня), что приводит к перерасходу электроэнергии и ускоренному износу оборудования [2]. С учётом этого повышение энергоэффективности эксплуатации скважин, оборудованных ЭЦН, становится одной из ключевых задач.

Для оценки эффективности эксплуатации фонда скважин используется метод Data Envelopment Analysis (DEA). Он позволяет сопоставлять скважины по множеству входных и выходных параметров и оценивать их эффективность относительно других подобных скважин [6; 7; 10]. В то же время анализ литературы показывает, что, несмотря на широкое распространение DEA в экономических исследованиях, его применение для анализа фонда скважин остаётся ограниченным.

* Ссылка на статью: Макаров И.В. Комплексная оценка эффективности нефтяных скважин с ЭЦН на основе DEA // Экономика и управление: научно-практический журнал. 2026. № 3. С. 149–153. DOI: 10.34773/EU.2026.3.23.

В работе предложен комплексный подход, основанный на последовательном применении моделей DEA и Super-DEA. Данный подход позволяет оценить эффективность скважин, выявить сверхэффективные скважины и рассчитать потенциальные резервы оптимизации. Отдельно рассматривается оценка экономической эффективности, связанная со снижением энергопотребления ЭЦН [8; 9].

Цель исследования – оценка эффективности эксплуатации фонда скважин, оборудованных ЭЦН, и выявление потенциала снижения частоты работы ЭЦН при сохранении требуемого уровня добычи.

Материалы и методы

Исследование выполнено на основе данных одного из крупнейших месторождений Республики Башкортостан за период 2022–2025 гг. В анализ включены ежемесячные технологические данные по скважинам действующего фонда. Общий объем выборки составил 1399 скважин и включает 40249 наблюдений. Выбранный временной интервал позволил повысить статистическую устойчивость результатов и проследить изменения режимов эксплуатации во времени. В качестве исходных данных использовались данные технологических режимов (ТР). Описание и классификация параметров представлены в таблице 1.

Таблица 1

Используемые параметры

Показатель	Обозначение	Тип показателя
Идентификатор скважины	WELL_ID	Идентификатор
Дата наблюдения	CALC_DATE	Временной
Частота работы ЭЦН, Гц	PUMP_FREQ	Входной
Сила тока ЭЦН, А	PUMP_CURRENT	Входной
Производительность насоса, м ³ /сут.	PUMP_CAPACITY	Технологический
Время работы установки, ч	ACT_TIME	Входной
Фактический дебит жидкости, м ³ /сут.	LIQ_RATE	Выходной
Фактический дебит нефти, м ³ /сут.	OIL_RATE	Выходной
Буферное давление, Мпа	BUFFER_PRESSURE	Условно-постоянный

Результаты

На первом этапе использовалась входно-ориентированная DEA-модель с переменной задачей от масштаба (VRS), ориентированная на минимизацию используемых входных ресурсов при сохранении достигнутого уровня добычи. Для корректного сопоставления скважины предварительно были разделены на группы по паспортной производительности насосного оборудования (PUMP_CAPACITY). Расчет DEA-эффективности выполнялся отдельно для каждой группы скважин и календарному месяцу. Динамика средней эффективности скважин представлена на рисунке 1.

Результаты первого этапа показали, что средний уровень технической эффективности фонда скважин находится в диапазоне от 0,91 до 0,96. При этом визуально наблюдается тренд повышения эффективности эксплуатации фонда скважин в 2022–2025 гг.

Значительная доля скважин достигает границы эффективности (значение DEA=1), что ограничивает возможность их ранжирования в рамках классической модели. В связи с этим на втором этапе была применена модель сверхэффективности (Super-DEA), которая позволяет ранжировать такие скважины за счет исключения оцениваемой скважины из референтного множества [10; 11] (рис. 2).

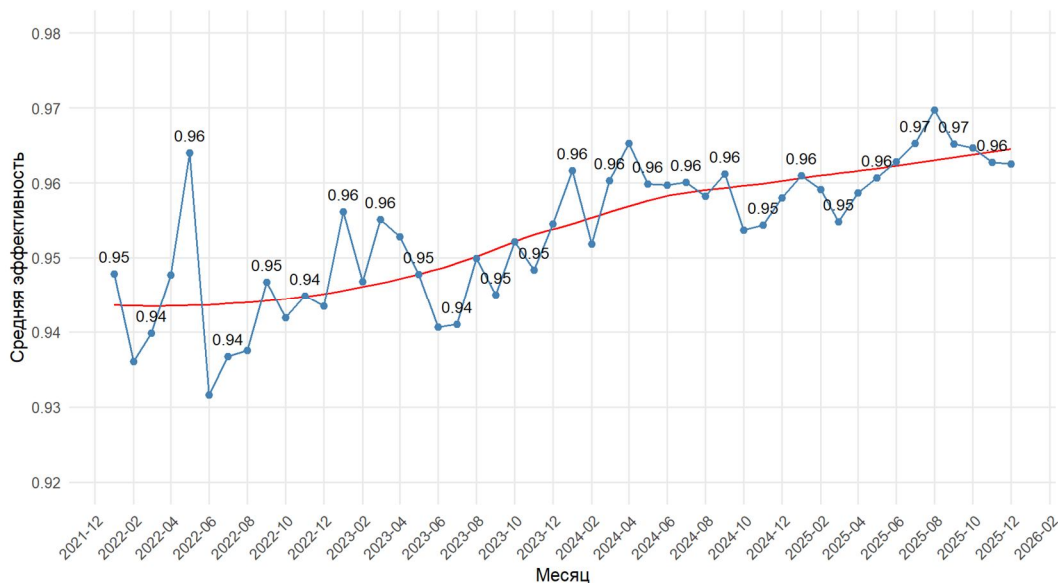


Рис. 1. Динамика средней эффективности скважин

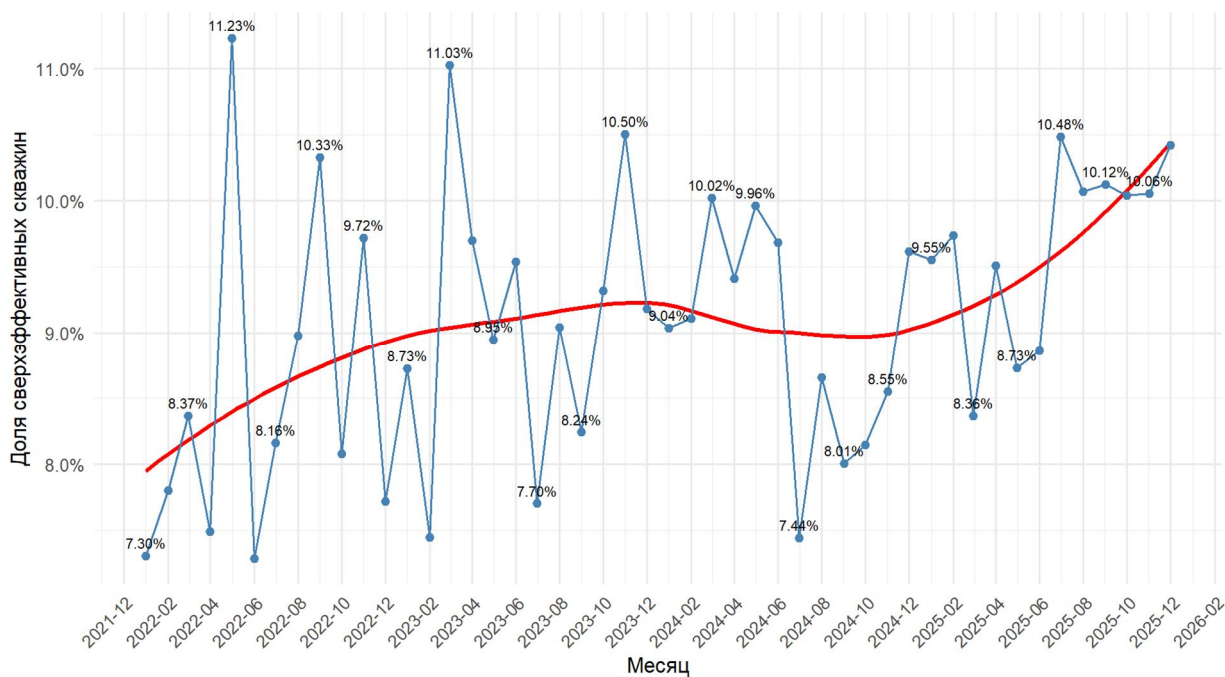


Рис. 2. Динамика доли сверхэффективных скважин

Анализ показал, что скважины, признанные эффективными на первом этапе ($DEA_EFF=1$), имеют значения $Super-DEA > 1$, что позволяет рассматривать их в качестве эталонных. Применение $Super-DEA$ устранило эффект равной эффективности, характерный для классической DEA , и обеспечило возможность ранжирования сверхэффективных скважин [8; 9]. При этом значения сверхэффективности варьируются в диапазоне 1,10-1,18, а отдельные пиковые значения до 1,26-1,30.

На третьем этапе на основе полученных DEA -оценок для каждой неэффективной скважины определены целевые значения частоты работы ЭЦН, а также рассчитан потенциальный резерв её снижения (рис. 3).

На основе распределения значений эффективности θ и их инженерной интерпретации выделены следующие диапазоны, представленные в таблице 2.

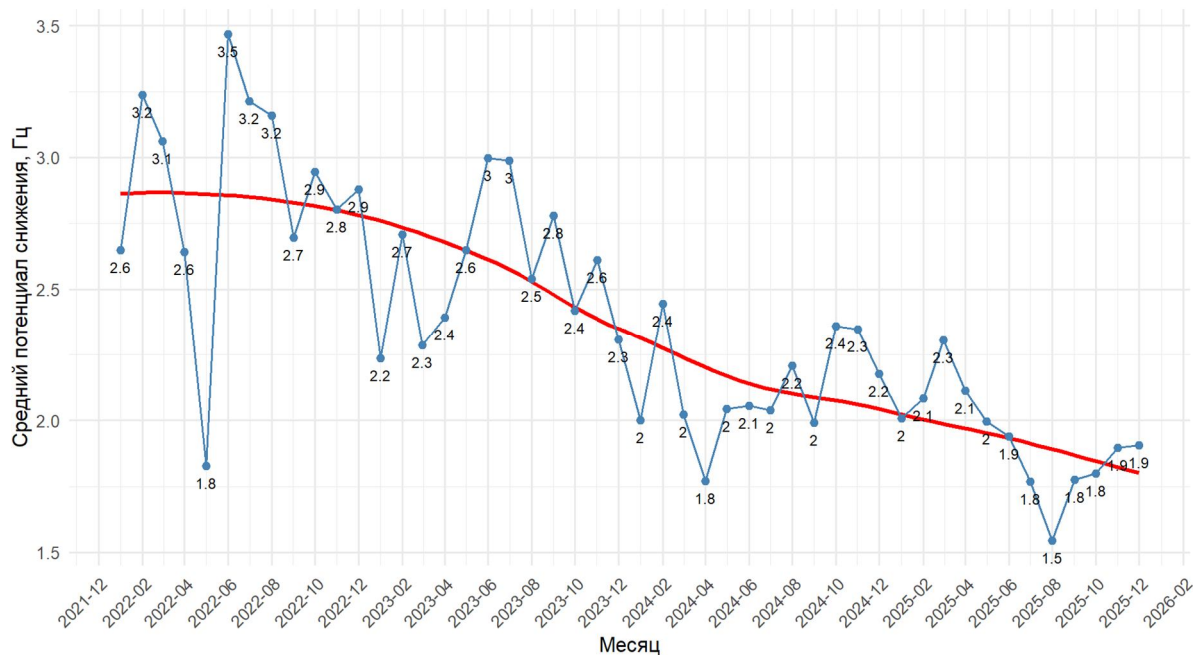


Рис. 3. Динамика потенциала снижения частоты ЭЦН

Таблица 2

Диапазоны эффективности

Диапазон эффективности	Интерпретация	Рекомендации
< 0.7	неэффективные режимы	поэтапное снижение частоты
0.7-0.85	низкая эффективность	плановая оптимизация
0.85-0.93	близкие к эффективным	точечная корректировка
≥ 0.93	эффективные	резерв отсутствует
≥ 0.98	квазиграница эффективности	режим условно оптимален

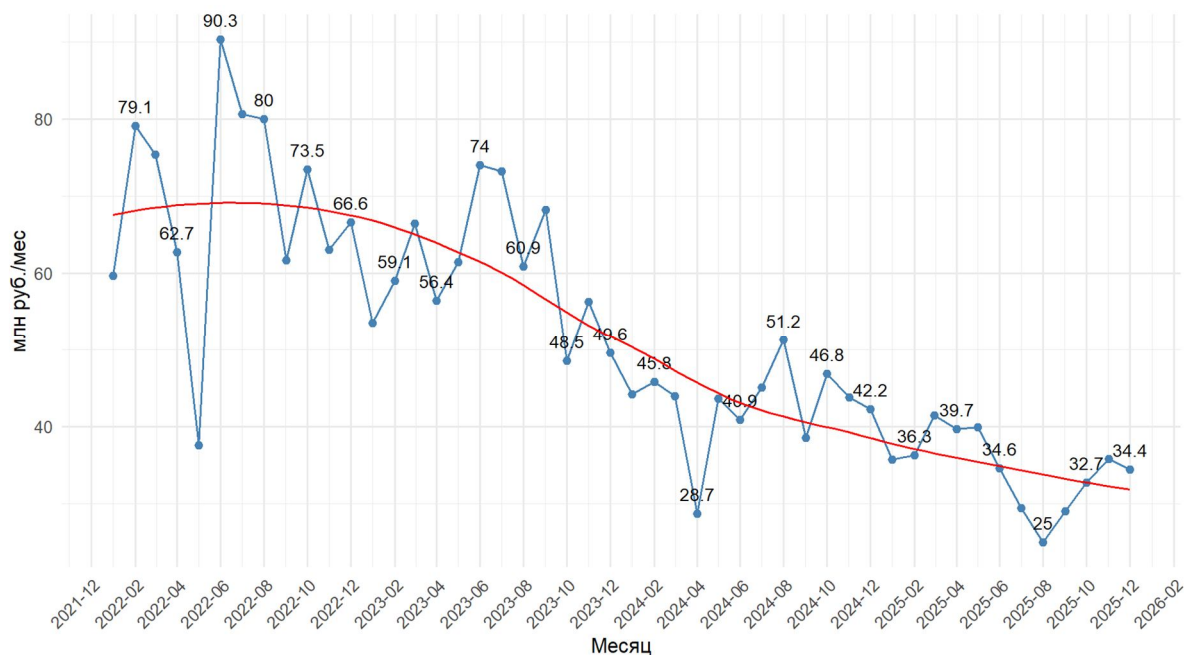


Рис. 4. Динамика экономического эффекта от оптимизации ЭЦН (ретроэксперимент)

Экономический эффект оценивался за счет снижения энергопотребления при уменьшении частоты вращения ЭЦН. Потребляемая мощность определялась по измеряемому току с учетом

номинального напряжения и коэффициента мощности, а экономия рассчитывалась как разница между фактическим и целевым энергопотреблением с учетом времени работы скважины. Денежный эффект рассчитывался с учетом действующего тарифа на электроэнергию.

Ретроэксперимент по оптимизации частоты работы ЭЦН за 2022–2025 гг. показывает наличие устойчивого потенциала повышения энергоэффективности. В отдельные месяцы совокупный экономический эффект составил бы 80–90 млн руб. (рис. 4).

Заключение

В работе предложен комплексный подход для оценки эффективности эксплуатации фонда скважин, оборудованных ЭЦН, основанный на последовательном применении методов DEA и Super-DEA с последующим определением целевых значений частоты работы ЭЦН и резерва её снижения. Установлено, что средний уровень эффективности скважин находится в диапазоне 0,91–0,96 и в 2024–2025 гг. демонстрировал устойчивую положительную динамику.

Определены параметры оптимальных режимов работы ЭЦН и выявлен устойчивый резерв снижения частоты без снижения уровня добычи (в среднем 1–1,5 Гц). Применение Super-DEA позволило ранжировать сверхэффективные скважины и выявить эталонные. Оценка экономического эффекта показывает, что снижение энергопотребления обеспечивает экономию в среднем 80–100 тыс. руб. на скважину в месяц. Совокупный эффект от реализации предложенных мероприятий может достигать 80–90 млн руб. в месяц, при этом более устойчивый уровень находится в диапазоне 20–40 млн руб. Дополнительно установлено, что по мере роста эффективности фонда скважин величина экономического эффекта снижается, что указывает на постепенное исчерпание доступных резервов энергосбережения.

Предложенный метод может быть использован в системах поддержки принятия решений при управлении режимами работы скважин, оборудованных ЭЦН.

Литература

1. Ретроспективное сравнение эффективности нефтегазовых компаний России с использованием метода DEA / В.В. Тарутина, Б.Н. Иванов, Е.И. Жукова, К.Б. Кайгородцев // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 3(129). DOI 10.23670/IRJ.2023.129.34.
2. Свешников А.Ю. Современное состояние и динамика развития нефтегазового комплекса РФ // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Т. 14, № 5-1. С. 333–341.
3. Состояние нефтяной промышленности России: статистика, компании, перспективы [Электронный ресурс]. URL: <https://prom-siberia.ru/tek/sostoyanie-neftyanoj-promyshlennosti-rossii-2023-obzor/>
4. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/
5. Энергоэффективные решения для нефтегазовых предприятий: как сократить затраты на энергоресурсы [Электронный ресурс]. URL: <https://onyx-rus.com/blog/energoeffektivnye-resheniya-dlya-neftegazovyh-predpriyatij-kak-sokratit-zatraty-na-energoresursy/>
6. Andersen P., Petersen N.C. A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis // Management Science. 1993. Vol. 39, No. 10. P. 1261–1264.
7. Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis // Management Science. 1984. Vol. 30, No. 9. P. 1078–1092.
8. Cooper W.W., Seiford L.M., Tone K. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software. New York: Springer, 2007. 492 p.
9. Emrouznejad A., Yang G.-L. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA // Socio-Economic Planning Sciences. 2018. Vol. 61. P. 4–8.
10. The DEA Process, Usages and Interpretations / A. Charnes, W.W. Cooper, A.Y. Lewin, L.M. Seiford // Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications Dordrecht: Springer, 1994. P. 425–435.
11. Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis // European Journal of Operational Research. 2002. Vol. 143, No. 1. P. 32–41.