

*д.т.н. Литвинский Г.Г.
(ДонДТУ, г.Алчевск, Украина)*

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕМНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАШИН

Розглянуті існуючі підходи до порівняльної оцінки і співставлення гідромашин різних конструкцій. Запропоновані критерії технічної ефективності об'ємних гідромашин. Приведено приклади їх вживання, рекомендовано узагальнений безрозмірний критерій технічної ефективності.

***Ключові слова:** аналіз критеріїв; об'ємні гідромашини; критерії технічної ефективності; новий критерій ефективності.*

Рассмотрены существующие подходы к сравнительной оценке и сопоставлению гидромашин различных конструкций. Предложены критерии технической эффективности объёмных гидромашин. Даны примеры их применения, рекомендован обобщённый безразмерный критерий технической эффективности.

***Ключевые слова:** анализ критериев; объёмные гидромашини; критерии технической эффективности; новый критерий эффективности.*

Бурное развитие промышленной гидравлики и её возрастающая роль в промышленности, в том числе и горной, при обилии различных типов и конструкций гидромашин (ГМ) обуславливают необходимость проведения технико-экономического сравнения для принятия обоснованных решений по применению или определению наиболее перспективных направлений развития ГМ[1].

Поэтому, также как и в других областях техники, в настоящее время стоит вопрос объективного сравнения технического уровня различных типов ГМ. Этому препятствует отсутствие достаточно обоснованных критериев сравнения, что и делает задачу обоснования критериев достаточно актуальной.

Требования к критериям сравнения

Когда принятие решений о приобретении или проектировании новой техники сопровождается повышенным риском, особенную актуальность приобретает объективная оценка ее технического уровня.

Для проведения сравнительной оценки технического уровня техники необходимо использовать комплекс показателей, позволяющих

сопоставить ее эффективность по различным характеристикам, которые можно разбить на несколько групп:

- показатели условий применения техники;
- геометрические параметры (в том числе габаритные размеры) машины и отдельных её элементов;
- энерго-механические параметры (тип энергии, мощность двигателя, крутящий момент, обороты, к.п.д. и др.);
- эксплуатационные показатели (обслуживание, ремонт, надежность, коэффициент готовности);
- требования безопасности, комфортности, охраны труда;
- технико-экономические данные (стоимость, окупаемость, ремонтпригодность, сложность изготовления и пр.).

Заметим, что не следует переоценивать достоверность приводимых различными фирмами данных, поскольку здесь может быть как их неосознанное искажение (например, когда машина еще не запущена в серию), так и вполне сознательная дезинформация, диктуемая требованиями рекламы, конкурентной борьбой за рынок и пр. Однако, несмотря на возможный разброс данных, можно полагать, что в своей совокупности эти неизбежные неточности при статистической обработке будут взаимно компенсированы и не помешают получить вполне реальное представление о тенденциях и закономерностях, которые проявляются в конструкции ГМ. Учитывая недостаточно достоверный характер, либо отсутствие некоторых исходных технических данных в доступной для анализа текущей информации, желательно выбрать такие их комбинации, чтобы они охватывали как можно более стабильные и распространенные показатели.

К техническим данным можно отнести (в скобках указаны обозначения размерности [l] – длина; [t] – время; [m] – масса; [F] – сила, [$m \cdot l / t^2$]):

1. **Интенсивные** показатели ГМ

- P – мощность (кВт), [$F \cdot l / t$] $\sim [m \cdot l^2 / t^2]$;
- M – крутящий момент [$F \cdot l$];
- V_p – рабочий объем [l^3].

2. **Экстенсивные** показатели ГМ

- A – габаритные размеры (длина, диаметр, высота, м) [l];
- V – общий объем машины [l^3];
- m – общая масса машины, (т) [m] $\sim \gamma \cdot [l^3]$, где $\gamma = \text{Const}$ – плотность материала;
- p – давление рабочей жидкости [F / l^2];
- ω – угловая скорость (1/с), [$1 / t$].

При указании размерности какого-либо показателя приведена оценка его пропорциональности геометрическим размерностям с целью

учета и дальнейшего исключения «масштабного» эффекта и получения безразмерной комбинации показателей техники. Поэтому одним из важнейших требований к результативным показателям при оценке технического уровня машины является их постоянство (инвариантность) при изменении масштаба (геометрических размеров) машины.

Целесообразно (а это всегда возможно) для единообразия и удобства использования так сформировать эти показатели, чтобы они при своем возрастании указывали на **повышение** технических качеств машины. Кроме того, как это отмечалось выше, изменение масштаба любого вида техники по возможности не должно приводить к существенному изменению значения показателя.

Независимо от способа формирования, набор показателей (критериев) в многокритериальной задаче должен удовлетворять определенным требованиям [2–4]:

- **Полнота**: использование любых дополнительных критериев не изменяет результатов решения задачи.

- **Декомпозируемость**: набор критериев обеспечивает возможность разбиения сложной задачи на отдельные, более простые части.

- **Неизбыточность**: показатели (критерии) не должны учитывать один и тот же аспект последствий.

- **Минимальность**: критерий должен содержать как можно меньшее количество показателей.

- **Измеримость**: критерий должен допускать возможность оценки интенсивности характеризуемого им свойства.

- **Безразмерность**: симплекс из параметров, входящих в критерий, должен быть безразмерным, что исключит ошибки, связанные с размерностью и позволит получить достаточно объективную оценку.

Существующие критерии и их смысл

Набор критериев позволяет выделить те аспекты последствий, которые обычно принимают во внимание при сравнении различных вариантов техники [3].

Перечислим некоторые из этих критериев, в том или другом виде применяемых в настоящее время (см., например, [5]). При этом, учитывая правила мнемоники, обозначим их единообразно и с достаточной определенностью, так, соотношение производительности и массы через $\lambda_{M/m} = M/t$, где нижними индексами отражен смысл критерия:

1. $\lambda_{M/m} = M/t$ – **критерий удельного момента**, т.е. крутящий момент, приходящийся на единицу массы, характеризует эффективность конструкторского решения с точки зрения материалоемкости и отражающий, какой момент дает каждая единица массы машины. Чем выше этот показатель, тем меньше удельная материалоемкость машины,

тем выше ее момент, приходящаяся на единицу массы, тем меньше следует ожидать затрат на материалы при изготовлении, тем ниже ее стоимость при прочих равных факторах.

2. $\lambda_{P/m} = P/m$ – **критерий удельной мощности**, т.е. мощность гидромотора, приходящаяся на единицу массы. Показывает, насколько «активно» в конструкции использована каждая единица массы. Косвенно отражает использование новых прогрессивных и высокопрочных материалов в машине, ее силовую сбалансированность, экономию на вспомогательных деталях и узлах. Оценивает энерговооруженность единицы массы ГМ, косвенным образом позволяет оценить проблемы теплового баланса и т.д.

3. $\lambda_{m/V} = m/\rho V$ – **безразмерный критерий компактности**, обобщенный показатель плотности конструкции машины, характеризует эффективность использования пространства в конструкции машины. Чем выше этот показатель, тем меньше материалозатраты на единицу продукции машины, тем меньше габариты, тем легче монтировать и обслуживать машину. Критерий даёт оценку соотношения экстенсивных характеристик машины и позволяет судить об оптимальности конструкторских решений, особенно когда экстенсивные параметры ГМ выступают как лимитирующий фактор.

К этому перечню можно добавить и другие возможные критерии, которые в настоящее время применяют для оценки гидромашин в том или ином виде, такие, как скоростной показатель и др.

Однако множество критериев для одной и той же машины чрезвычайно затрудняют оценку её предпочтительности, поскольку могут быть противоречивыми, а поэтому не совсем удобны для суждения о конструкции ГМ. Кроме того, некоторые из них прямо зависят от давления рабочей жидкости или от числа оборотов, поэтому они не могут быть достаточно объективными инвариантами для оценки ГМ и будут давать значительный разброс при разных оборотах или рабочих давлениях даже для одной и той же конструкции. Это замечание следует в первую очередь отнести к критериям $\lambda_{M/m}$ и $\lambda_{P/m}$. Первый из них прямо пропорционально зависит от рабочего давления, а второй – от числа оборотов, при этом всегда ГМ с большим рабочим давлением по критерию $\lambda_{M/m}$ и с большим числом оборотов по критерию $\lambda_{P/m}$ будут иметь преимущество над ГМ соответственно с низким давлением или низкооборотными.

Обобщённый критерий эффективности ГМ

Исходя из выполненного анализа, можно попытаться получить обобщенный критерий качества машины, который позволял бы произвести «свертку» (объединение) основных технических данных, характеризующих ту или иную конкретную конструкцию. Это позволило бы

сравнивать различные ГМ одного и того же предназначения, даже не смотря на большие их конструктивные различия.

Таким *обобщенным безразмерным критерием технической эффективности* K_{TE} ГМ является комбинация основных технических параметров в виде следующих равнозначных симплексов, которым не присущи недостатки предыдущих критериев:

$$K_{TE} = \frac{M}{pV} = \frac{P}{\omega p V} = \frac{V_p}{2\pi V}.$$

Важно обратить внимание на то, что критерий K_{TE} является *безразмерным* и объединяет главные *интенсивные* параметры, – крутящий момент M , мощность P и рабочий объём V_p , и *экстенсивные* показатели ГМ – общий объём V , давление p и угловую скорость ω , причём однозначно возрастание этого критерия свидетельствует об улучшении эффективности ГМ. В критерии K_{TE} устранено различие конструкций ГМ по давлению рабочей жидкости и угловой скорости, что важно для сопоставительного анализа и оценки ГМ.

Чем выше обобщенный безразмерный критерий технической эффективности K_{TE} , тем экономичнее машина, тем она компактнее, а ее конструкция более совершенна.

Обобщенный критерий эффективности K_{TE} дает научно обоснованную базу для объективного сравнения различных образцов ГМ, что важно на всех этапах их создания, проектирования и изготовления.

Сравнение объёмных гидромашин

С целью продемонстрировать, как «работают» различные критерии оценки технической эффективности гидромашин, была произведена обработка технических данных большинства известных по разным источникам объёмных гидромашин. Для этого в таблице 1 приведено сравнение различных ГМ фирмы «Самм» [6].

Рабочий объём v этих гидромашин изменяется в пределах 0,006-0,161 дм³, рабочее давление p от 10 до 20 МПа при числе оборотов $\omega = 750-1200$ об/мин. Следует обратить внимание на то, что при этом самые распространённые критерии $\lambda_{p/m}$ и $\lambda_{M/m}$ меняются в довольно значительных пределах (в 5...10 раз). Только безразмерный критерий компактности $\lambda_{m/pv}$ несколько лучше, т.к. он остаётся достаточно стабильным для этой марки гидромашин (в пределах 0,3-0,6) и показывает, что в ГМ этого типа присутствует большой незаполненный объём.

Таблица 1 – Сравнение гидромашин фирмы «Самм» по разным критериям

Тип ГМ	v , дм ³	p , МПа	M , кНм	ω , об/мин	P_m , кВт	V , дм ³	m , кг	$\lambda_{m/\rho V}$	$\lambda_{P/m}$, кВт/кг	$\lambda_{M/m}$, Нм/кг	K_{TE2} *10 ²
MP10-6	0,006	10,0	0,008	1200	0,66	1,02	4,5	0,57	0,12	0,178	8
MP12-14	0,014	12,5	0,02	800	3,25	1,72	3,7	0,28	1,10	0,519	11
MP13-24	0,025	10	0,03	750	2,50	1,89	4,8	0,33	0,69	0,625	16
MP17-48	0,048	10	0,06	750	4,60	4,88	11	0,29	0,56	0,545	12
MP25-25	0,025	20	0,07	750	5,00	3,06	9,5	0,40	0,70	0,342	11
MP17-60	0,059	10	0,07	750	5,80	4,88	11	0,29	0,70	0,673	15
MP18-80	0,081	10	0,10	750	8,50	6,35	13,8	0,28	0,82	0,710	15
MP22-132	0,132	10	0,15	750	11,9	8,02	19,5	0,31	0,81	0,744	18
MP20-63	0,063	20	0,18	750	14,7	7,03	22	0,40	0,89	0,405	13
MP29-160	0,161	20	0,29	750	26,5	18,40	59	0,41	0,60	0,242	8

В то же время обобщённый безразмерный критерий технической эффективности K_{TE} достаточно чётко характеризует эту марку ГМ, не подвергаясь большим изменениям при переходе от одного типоразмера к другому (размах изменений всего 8-18%). Тем самым такая оценка оказывается достаточно объективной и позволяет производить сравнение показателей не только однотипных ГМ, но и конструкций разных фирм. Однако отметим, что, тем не менее, обобщённый критерий K_{TE} не исключает применения остальных критериев, которые могут отражать некоторые специфические свойства ГМ, что может быть полезно при более детальном их анализе.

Опираясь на обобщённый критерий K_{TE} представляется возможным достаточно объективно оценивать качество не только уже существующей отдельной ГМ, но, что более важно, использовать критерий в процессе разработки её конструктивных параметров, а в дальнейшем разработать методологию оптимизации компоновки отдельных её деталей, что значительно облегчит задачи разработчика. В частности, можно при проектировании значительно сократить количество вариантов конструкций проектируемой ГМ, отбрасывая уже на предварительных стадиях инженерной проработки слабые решения и сосредотачивая усилия на наиболее эффективных вариантах.

Перспективным направлением использования обобщенного безразмерного критерия технической эффективности K_{TE} следует признать и возможность сравнения между собой различных классов однотипных ГМ существенно разных конструкций и принципов работы. Как видно из таблицы 1, для заданного класса ГМ фирмы «Самм» критерий колеблется в довольно ограниченном диапазоне ($K_{TE} = 0,08...0,18$) и априори после сравнения с другим типом ГМ по данному критерию можно судить о целесообразности применения данной конструкции. Выполнение такого метаанализа различных типов конструкций ГМ и их обоснованное сопоставление является довольно актуальной задачей, представляющей не только теоретический, но и прямой практический интерес для специалистов в области промышленной гидравлики и пневматики.

Выводы

1. Современное развитие промышленной гидравлики и пневматики, особенно в горной промышленности, требует разработки научно обоснованных критериев технической эффективности существующих и проектируемых гидромашин.

2. Проведён анализ интенсивных и экстенсивных технических показателей конструкций гидромашин и сформулированы требования, ко-

торым должны отвечать критерии технической эффективности. Рассмотрен физический смысл существующих критериев и выявлены присущие им недостатки.

3. Предложен новый критерий технической эффективности K_{TE} и показаны его преимущества, позволяющие оценивать различные типы ГМ и упростить выбор вариантов их конструктивных параметров при проектировании новых.

Библиографический список

1. Аврунин Г.А. Экстремальные параметры современного гидропривода / Г.А. Аврунин, И.В. Грицай, И.В. Мороз // *Промислова гідравліка і пневматика*. – 2006. – №4. – С. 3–9.

2. Гафт М.Г. Принятие решений при многих критериях / М.Г. Гафт. – М.: Знание, 1979. – 64 с.

3. Литвинский Г.Г. О методах и критериях оценки технического уровня горной техники / Г.Г. Литвинский // *Технология и проектирование подземного строительства: вестник академии строительства*. – Донецк: Норд-Пресс. – 2003. – №3. – С. 62-77.

4. Keeney R.L., Raifla H. *Decisions with Multiple Objectives: Preference and Value Tradeoffs*. – New York: John Willey. – 1976.

5. Экспериментальные исследования потерь мощности в современных аксиально-поршневых гидромашинах для мобильной техники / Аврунин Г.А., Белый О.В., Кабаненко И.В. [и др.] // *Промислова гідравліка і пневматика*. – 2006. – №4. – С. 68–74.

6. Докукин А.В. Радиально-поршневые гидромоторы многократного действия: Конструкции, теория и расчет / Докукин А.В., Рогов А.Я., Фейфец Л.С. – М.: Машиностроение. - 1980. – 288 с.