

УДК 621.83.062.1

САМОРОДОВ В.Б., д.т.н., проф., НТУ «ХПІ»
ШУБА С.А., инж., НТУ «ХПІ»

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ БЕССТУПЕНЧАТОЙ ГИДРООБЪЕМНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ ТРАКТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ

Запропоновано методику визначення оптимальної схеми для безступінчастої гідрооб'ємно-механічної трансмісії трактора. Використовуються вагові коефіцієнти, що визначаються на основі експертних суджень. Наведено приклад визначення оптимальної схеми з ряду запропонованих.

Введение. В настоящее время в мире насчитывается порядка 10 фирм-производителей тракторов (Fendt, John Deere, Massey Ferguson, CASE, CLAAS и др.), выпускающих трактора с бесступенчатой трансмиссией. Несмотря на недостатки этих тракторов, такие как сравнительно низкий КПД и относительно более высокая стоимость, количество моделей тракторов с бесступенчатой трансмиссией с каждым годом значительно увеличивается, что свидетельствует о неоспоримом преимуществе, которое дают их достоинства – простота конструкции, удобство управления, возможность выбора оптимальной скорости трактора и режима работы двигателя [1, 2, 8, 11].

Отечественное тракторостроение на данный момент вышло на такой этап своего развития, когда появилась готовность перейти от обоснования необходимости производства тракторов с бесступенчатой трансмиссией непосредственно к их выпуску.

Анализ последних достижений и публикаций. Несмотря на значительное отставание отечественного производителя тракторной техники в вопросах выпуска тракторов с бесступенчатой трансмиссией, научная подготовленность этого вопроса является достаточно высокой. В работах [3, 4] разработаны фундаментальные основы моделирования функционирования бесступенчатых гидрообъемно-механических трансмиссий (ГОМТ).

В многочисленных работах [5-7, 9-13] решались вопросы создания математических моделей для конкретных разработанных схем бесступенчатых трансмиссий, получения регулировочных характеристик их работы и анализа результатов моделирования работы трактора с бесступенчатой трансмиссией. Также были разработаны [5, 9] комплексный интегральный подход к автоматизированному конструированию ГОМТ транспортных средств и методика трансформации первоначальной кинематической схемы ГОМТ в 2-D и 3-D эскизные проекты трансмиссии.

Достаточно высокая степень научной обознанности в области бесступенчатых тракторных ГОМТ позволила провести критический обзор работ в этой [8] и давать научно обоснованные рекомендации по усовершенствованию уже существующих в мире образцов ГОМТ тракторов [11].

Цель и постановка задачи. В связи с выходом отечественной тракторной промышленности на этап создания трактора с бесступенчатой ГОМТ возникает необходимость выбора рациональной схемы ГОМТ из всего множества существующих

[5-7, 9-13] и вновь разрабатываемых схем. Однако множество варьируемых параметров ГОМТ и отсутствие единых четких представлений о требованиях к тракторам с бесступенчатой ГОМТ затрудняет данный выбор.

Целью данной работы является создание методики определения оптимальной схемы для бесступенчатой ГОМТ трактора. Для достижения цели ставится задача использования весовых коэффициентов критериев оценки.

Методика определения оптимальной схемы для бесступенчатой ГОМТ трактора. Весовые коэффициенты компонентов системы, в нашем случае критериев оценки, можно получить несколькими способами [14]. В основе подавляющего большинства методов лежит опрос экспертов с последующей математической обработкой их суждений.

Минимальное количество экспертов, выставляющих баллы по весу критериев, может определяться выражением, предложенным в работе [15]. В работе [16] рекомендуется участие 4–6 экспертов.

Таким образом, первоначально определяется группа критериев оценки схемы ГОМТ трактора. Руководитель (организации или проекта) назначает группу экспертов. Каждый эксперт проставляет значения баллов по весу каждого критерия. Предлагается в данном случае использовать метод прямой расстановки [14–15], однако несколько трансформированный. То есть используется 20-ти бальная шкала (может быть применена любая, обусловленная удобством использования в конкретной ситуации), а не условие метода прямой расстановки – равенства суммы баллов каждого эксперта 1 (или 100 %). Полученные баллы далее будут трансформированы в нормированные баллы, приведенные к 1. Это избавляет экспертов от необходимости заниматься хоть и простейшими, но вычислениями, а позволяет максимально сконцентрироваться на выполняемой задаче.

Нормированные значения баллов по весу критериев согласно мнению экспертов определяются зависимостью (1):

$$K_{j,i} = \frac{x_{j,i}}{\sum_{i=1}^n x_{j,i}}, \quad (1)$$

где $x_{j,i}$ – значения баллов по весу i -го критерия, проставленного j -м экспертом;
 n – количество критериев.

Обработка результатов проводится с учетом показателей компетентности экспертов [16]. Компетентность j -го эксперта определяется структурой аргументов, послуживших ему основанием для ответа, а также степенью знакомства с рассматриваемым вопросом и рассчитывается по выражению:

$$Ke_j = \frac{ka_j + kz_j}{2}, \quad (2)$$

где ka_j – коэффициент аргументированности j -го эксперта, который определяется путем суммирования соответствующих численных значений таблицы 1;
 kz_j – коэффициент степени знакомства j -го эксперта с рассматриваемым

вопросом, который определяется нормированным значением оценки, проставленной j -му эксперту руководителем.

Таблица 1 – Степень влияния источника аргументации [16]

Источник аргументации	Степень влияния источника аргументации на мнение		
	Высокая	Средняя	Низкая
Проведенные теоретические и практические исследования по данному направлению	0,4	0,3	0,2
Непосредственное участие в отчете	0,3	0,2	0,1
Практический опыт как специалиста по данному вопросу	0,2	0,1	0
Интуиция	0,1	0	0

Усредненные нормированные значения баллов по весу критериев согласно мнению экспертов с учетом компетентности экспертов определяются выражением:

$$Ku_i = \frac{\sum_{j=1}^m K_{j,i} \cdot Ke_j}{m}, \quad (3)$$

где m – количество экспертов, принимающих участие в опросе.

Дальнейшие шаги выполняются без участия экспертов на основании численных значений критериев, полученных при моделировании работы и анализе схем ГОМТ.

Так как значения критериев могут быть в самых разнообразных единицах измерения и численных порядках, их также удобно свести к нормированным значениям. Таким образом, нормированные значения критериев, приведенные к 1, определяются выражением:

$$yn_{k,i} = \frac{y_{k,i}}{y_{\max i}}. \quad (4)$$

где $y_{k,i}$ – численное значение i -го критерия по k -й схеме;

$y_{\max i}$ – максимальное значение i -го критерия;

p – количество схем.

Однако не все критерии с увеличением своего значения характеризуют повышение положительных свойств схемы ГОМТ. Так, например, повышение давления в системе гидрообъемной передачи не является положительным моментом. В данном случае, чем меньше давление, тем выше качественные свойства системы. Поэтому для таких критериев их нормированные значения необходимо инвертировать:

$$yn'_{k,i} = \left(\frac{y_{k,i}}{y_{\max i}} \right)^{-1}. \quad (5)$$

Суммарный оценочный показатель качества схемы определяется зависимостью:

$$S_k = \sum_{i=1}^n Ku_i \cdot yn_{k,i}. \quad (6)$$

Работу данной методики можно увидеть на следующем примере. Есть шесть схем, результаты моделирования которых приведены в табл. 2. Значения баллов по весу показателей согласно мнению пяти экспертов и показатели их компетентности представлены в табл. 3, 4. Результаты расчета нормированных значений баллов по весу критериев согласно мнению экспертов и нормированных значений критериев представлены в табл. 5, 6.

Таблица 2 – Значения критериев оценки сравниваемых схем

Схема	№ критерия									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	ηmax		dPmax, МПа	Nдв, кВт	№ ГМ	Индекс циркуляции мощности	ωmax, рад/с	Кол-во диф. мех-мов	Кол-во редук- торов	Кол-во фр. эл.
раб. диап.	трансп. диап.									
1	82	80	20,7	178	23	2,8	312	2	7	3
2	81	88	24,1	180	23	3,1	402	2	4	3
3	82	88	23,8	203	23	2,9	455	2	5	3
4	83	89	24	193	24	2,1	412	2	3	3
5	83	90	23,6	174	24	2,6	460	3	5	3
6	87	88	22,5	204	24	2,8	312	1	4	2

Таблица 3 – Значения баллов по весу критериев согласно мнению экспертов

Эксперт	№ критерия									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	15	14	14	10	10	15	10	5	15	10
2	16	15	13	8	17	20	14	15	14	14
3	14	13	12	9	13	19	15	16	13	12
4	18	16	15	16	15	18	10	17	12	11
5	19	17	14	17	13	16	12	14	11	10

Таблица 4 – Показатели компетентности экспертов

Эксперт	ka	kz	Ke
1	0,8	0,9	0,85
2	0,7	0,5	0,6
3	0,4	0,8	0,6
4	0,8	0,7	0,75
5	0,7	0,4	0,55

Таблица 5 – Нормированные значения баллов по весу критериев согласно мнению экспертов

Эксперт	№ критерия									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,11	0,103	0,103	0,074	0,074	0,132	0,118	0,125	0,088	0,074
2	0,11	0,103	0,089	0,055	0,116	0,137	0,096	0,103	0,096	0,096
3	0,103	0,096	0,088	0,066	0,096	0,14	0,11	0,118	0,096	0,088
4	0,122	0,108	0,101	0,108	0,101	0,122	0,068	0,115	0,081	0,074
5	0,133	0,119	0,098	0,119	0,091	0,112	0,084	0,098	0,077	0,07
Усредненные нормированные значения баллов по весу показателей согласно мнению экспертов с учетом компетентности экспертов										
-	0,077	0,071	0,065	0,056	0,063	0,086	0,064	0,076	0,059	0,053

Таблица 6 – Нормированные значения критериев

№ схемы	№ критерия									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,943	0,889	1,164	1,146	1,043	1,107	1,474	1,5	1	1
2	0,931	0,978	1	1,133	1,043	1	1,144	1,5	1,75	1
3	0,943	0,978	1,013	1,005	1,043	1,069	1,011	1,5	1,4	1
4	0,954	0,989	1,004	1,057	1	1,476	1,117	1,5	2,333	1
5	0,954	1	1,021	1,172	1	1,192	1	1	1,4	1
6	1	0,978	1,071	1	1	1,107	1,474	3	1,75	1,5

Результаты расчета суммарных оценочных показателей качества схем представлены на рис. 1.

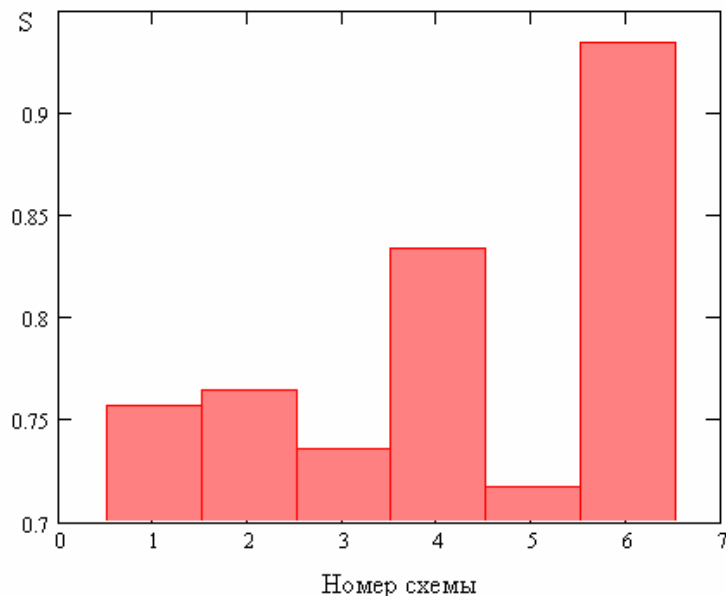


Рисунок 1 – Результаты расчета суммарных оценочных показателей качества схем

Как видно из рисунка, схема № 6 является оптимальной по своим качествам, наихудшей из рассматриваемых схем является схема № 5.

Выводы

Разработана методика определения оптимальной схемы для бесступенчатой ГОМТ трактора, в которой используются весовые коэффициенты критериев оценки. Весовые коэффициенты получаются на основе опроса экспертов с последующей математической обработкой их суждений. Также учитывается компетентность экспертов, принимающих участие в опросе. Работа методики показана на примере выбора оптимальной схемы из шести предложенных.

Список литературы: 1. Новиков Г.В. К вопросу о функциональных свойствах тракторов с бесступенчатыми трансмиссиями // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2005. - № 4, с. 33-36. 2. Нефедов А. Тракторы с бесступенчатыми трансмиссиями // Сел. механизатор.-2004.-№ 6, с. 4-5. 3. Александров Е.Е., Самородов В.Б., Волонцевич Д.О., Палащенко А.С. Колесные и гусеничные машины высокой проходимости. В 10-ти томах. Том 3: Бесступенчатые трансмиссии: расчет и основы конструирования. –Харьков, ХГПУ.-185 с. 4. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин / Александров Е.Е., Лебедев А.Т., Самородов В.Б. и др. – Харьков: ХГАДТУ, 2001.-642 с. 5. Самородов В.Б., Rogov A.B., Науменко А.В., Постный В.А. и др. Комплексный подход к автоматизированному анализу, синтезу и проектированию гидрообъемно-механических трансмиссий // Вестник НТУ «ХПИ» Автомобиле- и тракторостроение: Сб. науч. тр. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2002. – №10. – Т.1. – С. 3 - 16. 6. Самородов В.Б., Rogov A.B. Результаты математического моделирования сложной динамической системы двигатель – гидрообъемно-механическая трансмиссия – колесный трактор // Тракторная энергетика в растениеводстве. Сб. науч. Тр. – Харьков: ХГТУСХ.-2001.-С. 109-117. 7. Самородов В.Б., Бурлыга М.Б. Результаты численного эксперимента по анализу основных параметров гидрообъемно-механической трансмиссии колесного трактора-аналога ХТЗ-17121 // Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Автомобиле- и тракторостроение». – НТУ «ХПИ». – 2004. –№ 16, 178 с. 8. Самородов В.Б., Rogov A.B., Бурлыга М.Б. Самородов В.Б. Критический обзор работ в области тракторных гидрообъемно-механических трансмиссий // Тематический выпуск «Автомобиле- и тракторостроение». – НТУ «ХПИ». – 2003. –№ 4, с. 3-19. 9. Самородов В.Б., Шуба С.А. Двухпоточная тракторная гидрообъемно-механическая трансмиссия: математическое моделирование и эскиз конструкции // Тематический выпуск «Автомобиле- и тракторостроение». – НТУ «ХПИ». – 2005. –№ 10, с. 18-24. 10. Самородов В.Б., Мухин В.А., Шуба С.А. Обоснование возможности применения двухпоточной бесступенчатой трансмиссии с механическим вариатором // Тематический выпуск «Автомобиле- и тракторостроение». – НТУ «ХПИ». – 2005. –№ 13, с. 53-57. 11. Самородов В.Б., Rogov A.B. Обоснование оптимальных конструктивных параметров бесступенчатой трансмиссии трактора // Тематический выпуск «Автомобиле- и тракторостроение». – НТУ «ХПИ». – 2010. –№ 1, с. 8-14. 12. Шуба С.А. Выбор оптимального типоразмера гидрообъемной передачи для гидрообъемно-механической трансмиссии // Тематический выпуск «Автомобиле- и тракторостроение». – НТУ «ХПИ». – 2006. –№ 6, с. 56-59. 13. Таран И.А. Научное обоснование рациональной структуры и конструктивных параметров бесступенчатых трансмиссий шахтных дизелевозов // Гірничя механіка та машини. – Науковий вісник НГУ. – 2009. - №12, с. 43-46. 14. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. – М.: Финансы и статистика, 1989. 15. Коробов В.Б. Сравнительный анализ методов определения весовых коэффициентов "влияющих факторов" // Социология: методология, методы, математические модели. – Научный журнал института социологии РАН. – 2005. - № 20. 16. Григорьев А.В., Козин П.А., Остапчук А.В. Методика определения значений весовых коэффициентов с учетом компетентности привлекаемых экспертов // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2009. –№ 8, с. 73-83.