

Предложена последовательность выбора и согласования дизеля проектируемой машины, которая позволяет выполнить работы, обеспечивающие разработку эффективной теплонапряженной системы.

### Литература

1. Якубович, А. И. Экономия топлива на тракторах: монография / А. И. Якубович, Г. М. Кухаренок, В. Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2009. – 229 с.
2. Якубович, А. И. Системы охлаждения тракторных и автомобильных двигателей. Конструкция, теория, проектирование / А. И. Якубович, Г. М. Кухаренок, В. Е. Тарасенко. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2013. – 473 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания: теория рабочих процессов: учеб. для вузов: в 3 кн. / В. Н. Луканин [и др.]; под ред. В. Н. Луканина и М. Г. Шатрова. – 3-е изд., перераб. и испр. – М.: Высшая школа, 2007. – Кн. 1. – 479 с.
4. Колчин, А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие для вузов / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – М.: Высш. Школа, 1971. – 344 с.
5. Системный выбор энергетических параметров колесных тракторов: справочник / А. И. Бобровник [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2011. – 104 с.
6. Тракторы BELARUS [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://www.belarus-tractor.com/catalog/tractors/>. – Дата доступа 24.05.2018.
7. Турчак, Л. И. Основы численных методов / Л. И. Турчак. – М.: Наука, 1987. – 318 с.
8. Мудров, А. Е. Численные методы для ЭВМ на языках Бэйсик, Фортран, Паскаль / А. Е. Мудров. – Томск: МП «РАСКО», 1991. – 272 с.
9. Бахвалов, Н. С. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. – М.: Наука, 1987. – 600 с.

УДК 621.43

Поступила в редакцию 25.04.2018  
Received 25.04.2018

**В. Е. Тарасенко<sup>1</sup>, А. А. Жешко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: trs9@yandex.ru

<sup>2</sup> РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: belagromech@tut.by

### РАЗРАБОТКА СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОНАПРЯЖЕННЫХ СИСТЕМ МОБИЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Эффективной в создании теплонапряженных систем для параметрического ряда мобильных сельскохозяйственных машин является разработка модульных систем. Модульный ряд теплонапряженных систем на примере параметрического ряда тракторов «Беларус» позволяет осуществить глубокую унификацию систем и обеспечить значимую экономию финансовых средств на этапах производства и в процессе эксплуатации.

Предложена методология проектирования, которая объединила новые научные положения в этом направлении. Методология проектирования систем дополнена морфологическим методом разработки структурных схем и конструкций, и, что особенно существенно, предложена нормативная (численная) оценка сложности системы, позволяющая проводить сравнительную оценку разрабатываемых систем относительно базовых. Морфологический метод и модульный принцип в своей совокупности являются новым эффективным направлением в создании перспективных систем мобильных сельскохозяйственных машин.

*Ключевые слова:* теплонапряженная система, компонент, структура, матрица, признак, модуль, производительность.

V. E. Tarasenko<sup>1</sup>, A. A. Zheshko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»*

*Minsk, Republic of Belarus*

*e-mail: trs9@yandex.ru*

<sup>2</sup>*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»*

*Minsk, Republic of Belarus*

*e-mail: belagromech@tut.by*

## **DEVELOPMENT OF THE SCHEME AND CONSTRUCTION OF HEAT-SUPPRESSED SYSTEMS OF MOBILE AGRICULTURAL MACHINES**

Effective in the creation of heat-stressed systems for the parametric series of mobile agricultural machines is the development of modular systems. A modular series of heat-stressed systems, using the example of the BELARUS range of tractors, allows for deep unification of systems and significant financial savings at the production and operational stages.

A design methodology was proposed that combined new scientific positions in this direction. The methodology of system design is complemented by the morphological method of developing structural schemes and designs, and, what is especially important, a normative (numerical) estimation of the complexity of the system is proposed, allowing comparative evaluation of the developed systems in comparison with the baseline ones. The morphological method and the modular principle in their totality are a new effective direction in creating promising systems of mobile agricultural machinery.

*Keywords:* heat-stressed system, component, structure, matrix, feature, module, performance.

### **Введение**

Теплонапряженные системы (ТС) двигателей мобильных сельскохозяйственных машин относятся к техническим устройствам, обеспечивающим безотказную работу техники в эксплуатации. Недооценка ТС в функционировании, даже незначительные упущения в проектировании, приведут к значимым потерям и в производстве, и в эксплуатации. Доработка и совершенствование системы потребуют новых финансовых средств. Поэтому разработка и создание ТС должны выполняться на достаточном научном и техническом уровне с использованием современных методологий проектирования.

ТС состоит из отдельных компонентов различного функционального назначения и различной степени конструкционной сложности. ТС является термодинамической системой, при функционировании которой обеспечиваются отвод теплоты и охлаждение работающего двигателя. Каждый компонент из составляющих структурной схемы ТС функционально неизменен, но конструктивно может иметь множество технических решений. В зависимости от принятых возможных технических решений составляющих и формируется конструкция системы [1, 2]. Структурная схема и конструкция системы также имеют множество решений, оценить которые, сопоставить с имеющимися или возможными вариантами решений весьма сложно. Разработчику ТС приходится перебирать множество возможных конструкторских решений, увязывать их между собой, создавать и принимать решение о сложности конструкции.

Наука о ТС сегодня включает, с одной стороны, всю сумму научных фундаментальных и прикладных знаний ученых-теоретиков, а с другой – эмпирический опыт создания и разработки новых систем заводских конструкторов. Следует признать, что отсутствие методологии оценки сложности конструкции ТС затрудняет проведение научно обоснованного прогнозирования ее развития как на ближайшую, так и на более отдаленную перспективу. В этой связи представляется необходимым систематизировать достаточно большой массив теоретических и эмпирических знаний в области проектирования ТС, а также в области теории термодинамики, теплотехники, деталей машин и создать рабочие модели, программы, которые позволили бы в автоматизированном режиме решать многие из прикладных задач при проектировании ТС. Новые методы проектирования с использованием компьютерных технологий создают возможности во много раз сократить сроки разработки новых конструкций, однако до настоящего времени нет математических моделей, алгоритмов формирования и оценки схем ТС.

### **Материалы и методы исследований**

*Цель исследования* – разработка методологии проектирования, позволяющей проводить сравнительную оценку разрабатываемых систем.

*Материалы и методы.* Рассмотрим один из вариантов подобных решений. Структурно ТС можно рассматривать как составляющую мобильных сельскохозяйственных машин, состоящую

из множества компонентов ( $s_{1j}, s_{2j}, s_{3j}, \dots, s_{ij}$ ) отдельных классов. Одни составляющие по функциональным признакам являются базовыми, обеспечивают работу ТС как термодинамической системы, другие являются составляющими базовых компонентов или обеспечивают связь между базовыми составляющими и двигателем. К числу базовых относятся также теплоносители, обеспечивающие отвод теплоты от цилиндров двигателя, перенос ее к радиатору и рассеивание ее в окружающую среду. Каждый из компонентов придает ТС некоторое утверждение, которое может считаться функцией этого составляющего. Это позволяет записать:

$$SC = s_{1j} s_{2j} s_{3j} \dots s_{ij}$$

Все составляющие между собой имеют функциональные и структурные связи. Примем, что функциональная связь определяется назначением составляющего компонента, структурная – его компоновочным построением в машине.

Принципиальная схема жидкостной ТС мобильной сельскохозяйственной машины (рисунок 1) включает следующие компоненты: источник тепловой энергии, жидкостный контур по переносу тепловой энергии от источника, воздушный контур, взаимодействующий с жидкостным контуром и рассеивающий тепловую энергию в окружающую среду [3]. Совместно с компонентами ТС двигателя функционируют и другие составляющие, обеспечивающие охлаждение смазочного масла, наддувочного воздуха, теплоносителя кондиционера, а также работу отопителя кабины.

ТС является техническим устройством, которое тепловую энергию от цилиндров двигателя отводит в окружающую среду, обеспечивая его охлаждение. ТС функционально включается в состав силового агрегата мобильной сельскохозяйственной машины.

При рассмотрении принципиальной схемы (рисунок 1) выделим базовые составляющие компоненты – это источник энергии, жидкостный тракт, воздушный контур и другие, принятые для последующего рассмотрения. Базовые компоненты независимы, могут иметь различный принцип действия, различное конструктивное исполнение.

Составляющие базовых компонентов определяют их конструктивное исполнение, являются отдельными простейшими элементами или состоят из нескольких деталей. При рассмотрении

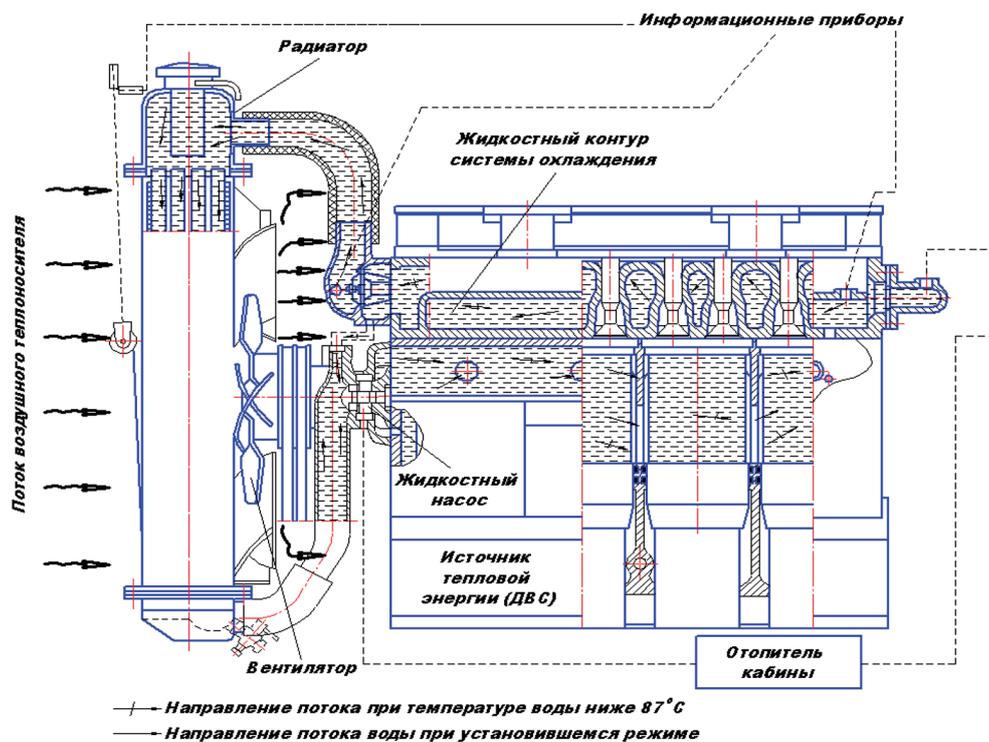


Рисунок 1. – Принципиальная схема жидкостной теплонапряженной системы двигателя мобильной сельскохозяйственной машины

Таблица 1. – Матрица компонентов теплонапряженной системы

Базовые компоненты, <i>i</i>		Возможное исполнение компонентов / разряд сложности, <i>j</i>									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Тип системы	Воздушная		Жидкостная прочотная	Жидкостная проточно-замкнутая	Жидкостная испарительная	Жидкостная термосифонная	Жидкостная принудительная	Жидкостная комбинированная		Жидкостно-воздушная
2	Теплоноситель	Воздух	Масло	Вода		Антифриз	Тосол		Фреон		
3	Расширительный контур			Расширительный бачок	Конденсационный бачок	Деаэрационный бачок	Компенсационный бачок		Расширительная емкость, встроенная в верхний бачок радиатора		
4	Регулирование потока жидкости		Термостат с жидким наполнителем	Термостат с твердым наполнителем		Насос с регулируемой подачей					
5	Насос жидкостный		Кольцевой, $\eta = 0,12-0,25$	Вихревой, $\eta = 0,30-0,45$	Шестеренчатый	Поршневой, $\eta = 0,90-0,96$	Центробежный $\eta = 0,55-0,78$				
6	Радиатор жидкостный	Трубчатый	Трубчато-ребристый	Пластинчатый		Трубчато-ленточный	Трубчато-пластинчатый				Тепловая труба
7	Материал охлаждающих поверхностей	Сталь	Чугун	Мель	Алюминиевый сплав	Лагунь				Металло-керамика	Комбинированный
8	Компоновка радиаторов		Водяной	Водяной + масляный двигателя		Жидкостный + масляный двигателя + трансмиссии	Жидкостный + масляные двигателя + кондиционера		Водяной + ОНВ + кондиционера		
9	Вентилятор		Центробежный		Осевой				Эжекторное устройство		
10	Привод вентилятора	Шестеренчатый	Ременной	Электрический двигатель	Гидрообъемная передача	Ременной с фрикционной муфтой	Ременной с вязкостной муфтой	Ременной с электромагнитной муфтой	Ременной с гидромуфтой	Шестеренный с гидромуфтой	
11	Регулирование потока воздуха		Шторка		Жалюзи	Переменный угол атаки лопастей вентилятора	Отключаемый вентилятор электромагнитной муфтой	Отключаемый вентилятор фрикционной муфтой	Отключаемый вентилятор вязкостной муфтой		Отключаемый вентилятор гидромуфтой
12	Охладитель масла	Радиатор кожухотрубный воздушномасляный	Радиатор трубчатый стальной воздушномасляный	Радиатор трубчатый из алюминия оребренной трубы воздушномасляный	Радиатор трубчато-ленточный	Радиатор трубчато-пластинчатый	ЖМТ в бачок радиатора	ЖМТ из круглой оребренной трубы, встроенный в блок двигателя	ЖМТ из плоских оребренных труб, встроенный в блок двигателя	ЖМТ пластинчатый, встроенный в блок двигателя	

составляющих базовых компонентов примем в качестве квалификационного признака возможное конструктивное исполнение по принципу действия, количества составляющих элементов (деталей) и расположим их последовательно в порядке увеличения сложности принципа действия и конструкции. Базовые компоненты расположим последовательно в порядке их функциональных связей. Проведя указанное построение, получим матрицу (таблица 1), содержащую базовые компоненты и возможные их составляющие  $j$  [4]. В целом матрица содержит компоненты множества различных конструкций ТС.

Предлагаемая матрица составлена по результатам изучения и анализа конструкций ТС двигателей внутреннего сгорания от первых образцов до ТС, применяемых на мобильных сельскохозяйственных машинах в настоящее время. В матрицу также включены технические решения, не применяемые в настоящее время, но которые, по мнению авторов, могут быть использованы в конструкции ТС в будущем. Между отдельными составляющими возможных исполнений компонентов оставлены пробелы, которые могут быть заполнены новыми элементами. В основу построения матрицы принят квалификационный признак, оценивающий сложность конструкции отдельно взятого составляющего компонента, совокупность которых и составляет сложность конструкции ТС в целом.

Таким образом, таблица 1 представляет матрицу структурных компонентов ТС с базовыми компонентами  $i_1, i_2, \dots, i_n$  и возможными конструктивными их исполнениями  $j_1, j_2, \dots, j_m$ . Принимаемое техническое решение ТС обозначим  $S_{ij}$ , где  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  и  $j = 1, 2, 3, \dots, m$ , и представим их возможное множество в виде:

$$\begin{aligned} &S_{11}S_{12}S_{13}\dots S_{1m}; \\ &S_{21}S_{22}S_{23}\dots S_{2m}; \\ &\dots\dots\dots \\ &S_{n1}S_{n2}S_{n3}\dots S_{nm}. \end{aligned}$$

Приняв конструктивное исполнение по каждому базовому компоненту, составим формулу ТС в общем виде:

$$SC = S_{1j} + S_{2j} + S_{3j} + \dots + S_{ij} = \sum_{i=1}^n S_{ij}. \quad (1)$$

Приведенная матрица структурных комбинаций при конструировании ТС создает возможность формирования структуры системы, ее описания и нормативного анализа.

Положенный в основу построения матрицы компонентов ТС метод, называемый морфологическим, достаточно разработан и широко используется при разработке структуры и проведении анализа различных объектов и машин. Применение его при создании технических изделий описано в работах Фрица Цвикки [5]. Сущность метода состоит в делении объекта на отдельные части, каждая из которых имеет несколько возможных решений, общее решение получается при взятии одного конкретного решения по каждому составляющему и равно числу возможных комбинаций [4].

Очевидно, что новые прогрессивные решения не могут быть разработаны без системного анализа существующих и возможных конструктивных исполнений ТС. Морфологический метод позволяет изучить каждую из возможных структур объекта, принять наиболее рациональный ее вариант, решить поставленную задачу системным методом. Формула ТС (1) позволяет разрабатывать структурные схемы, проводить их анализ и оценку, выполнять обоснованный выбор составляющих компонентов.

Для конкретизации изложенного выше, используя приведенную матрицу компонентов (таблица 1), составим структурную формулу ТС двигателя трактора модели «Беларус-80.1». Опишем его ТС следующим образом:

- тип охлаждающей системы – жидкостная;
- теплоноситель – вода;
- регулирование потока жидкости – термостат с жидким наполнителем;
- радиатор – трубчато-пластинчатый, латунный;

- нагнетатель жидкостного теплоносителя – жидкостный насос, центробежный;
- нагнетатель воздушного теплоносителя – вентилятор;
- привод вентилятора – клиноременной;
- регулирование потока воздуха – шторка;
- охладитель масляный – воздушно-масляный радиатор из оребренной алюминиевой трубы.

Структурная формула ТС трактора модели «Беларус-80.1», состоящая из приведенных компонентов, представляется в виде:

$$SC_{TR}(S_{1.8}, S_{2.3}, S_{4.2}, S_{5.7}, S_{6.6}, S_{7.5}, S_{8.3}, S_{9.4}, S_{10.2}, S_{11.2}, S_{12.3}) \quad (2)$$

Формула (2) в совокупности с матрицей представляет перечень принятых составляющих компонентов, описывает в общем виде структуру и особенности конструкции ТС.

Проведя анализ этой формулы, представляется возможным решать задачи, стоящие при разработке ТС. По характеристикам принятых компонентов составляются описание, техническая характеристика, разрабатывается техническое задание проектируемой ТС, а также возможно проводить нормативную оценку, например, сложности конструкции, ее стоимости. Решение данных задач рационально путем разработки базы данных компонентов ТС, что позволит разработку ТС проводить с использованием методов компьютерного проектирования.

Рассмотрим нормативную оценку сложности конструкции ТС. Каждый из компонентов в матрице располагается, согласно его принципу работы и конструктивной сложности, и чем выше разряд, тем выше группа сложности. В качестве нормативной оценки сложности конструкции предлагается отношение численного значения разряда ( $j$ ) к численному значению условного обозначения базового компонента ( $i$ ), условно назовем его коэффициентом ранжирования составляющего компонента:

$$k_s = \frac{j}{i}.$$

В качестве нормативного коэффициента сложности конструкции ТС примем сумму коэффициентов ранжирования:

$$\hat{i} = \sum_{i=1}^n k_{si}. \quad (3)$$

На основании расчетов коэффициентов ранжирования ТС трактора модели «Беларус-80.1», описываемой формулой (2), коэффициент сложности конструкции ТС, рассчитанный по формуле (3), будет равен  $\xi = 14,565$ . Предположим, что проведена модернизация ТС: в качестве жидкостного теплоносителя применена низкозамерзающая жидкость, для исключения выброса которой в окружающую среду система дополнена расширительным контуром. Формула модернизированной ТС примет вид:

$$SC_{TR}(S_{1.8}, S_{2.6}, S_{3.3}, S_{4.2}, S_{5.7}, S_{6.6}, S_{7.5}, S_{8.3}, S_{9.4}, S_{10.2}, S_{11.2}, S_{12.3}),$$

и коэффициент сложности конструкции модифицированной ТС будет оцениваться  $\xi = 17,065$ . Модернизация системы сделала ее более сложной, коэффициент сложности системы увеличился на  $\Delta\xi = 2,5$ .

Для примера составим формулу некоей гипотетической ТС жидкостно-воздушного типа нового, «интеллектуального» поколения, теплоносителем которой является антифриз, расширительный контур встроены в верхний бачок радиатора, жидкостный насос – центробежный с регулируемой подачей, радиатор – трубчато-пластинчатый со встроенным в бачок жидкостно-масляным теплообменником (ЖМТ) охлаждения масла двигателя, вместо вентилятора применено эжекторное устройство. Формула такой ТС имеет вид:

$$SC_{TR}(S_{1.10}, S_{2.5}, S_{3.8}, S_{4.5}, S_{5.7}, S_{6.6}, S_{7.5}, S_{8.10}, S_{9.10}, S_{11.4}, S_{12.6}).$$

Расчетный коэффициент сложности описанной конструкции ТС  $\xi = 22,756$ .

Морфологический метод построения ТС на основе разработанной матрицы позволяет при проектировании провести также сравнительную стоимостную оценку разрабатываемой конструкции. Рассчитав коэффициент сложности конструкции ТС, стоимость которой, например, известна, определяются затраты единицы коэффициента сложности по формуле:

$$\sigma_C = \frac{C}{\xi}, \quad (4)$$

где  $C$  – стоимость затрат на изготовление ТС, руб.

Стоимость затрат на единицу коэффициента сложности конструкции  $\sigma_C$  по ряду известных моделей систем позволяет определить среднестатистические, достаточно близкие к реальным, затраты, которые с достаточной точностью можно использовать для стоимостной оценки разрабатываемых и перспективных исполнений ТС. Из формулы (4) следует, что стоимость ТС равна:

$$C = \sigma_C \xi. \quad (5)$$

Матрица составляется на основе квалификационного признака в соответствии с поставленной задачей. Матрицу не следует считать неизменной, она может дополняться новыми базовыми составляющими и их компонентами. Следует отметить, что предложенная матрица субъективна, ее построение определяет разработчик. Однако матрица, разработанная и согласованная группой независимых специалистов, более объективна. Сравнительная оценка конструкции системы и ее возможных исполнений при принятом построении матрицы позволяет решать поставленные задачи проектирования, проводить сравнительную оценку конструкции и предполагаемой стоимости. Для решения задачи составляется множество исполнений, в каждое входит по одному варианту квалификационного признака из каждой строки матрицы. Анализ этого множества позволяет выбрать наилучший вариант исполнения. В качестве критериев выбора наилучшего варианта могут применяться критерии, отвечающие решению задачи, в том числе нормативной оценки конструкции варианта исполнения. Нормативными критериями могут быть технические, экономические, эргономические и другие показатели. Оценку варианта исполнения рационально проводить в сравнении, например, по базовому исполнению. Морфологический метод можно применить для разработки отдельно взятого компонента ТС, в том числе радиатора, вентилятора, жидкостного и воздушного контуров, разделив их на отдельные возможные составляющие и элементы [4].

*Модульная система охлаждения (СО) параметрического ряда машин.* Предложенный метод проектирования предполагает разработку СО отдельно взятой мобильной сельскохозяйственной машины заданной мощности двигателя. Для разработки СО параметрического ряда тракторов этот метод следует дополнить модульным принципом построения, предполагающим выбор составляющих компонентов для ряда тракторов в определенном диапазоне мощности.

Под модулем в конструкции мобильных сельскохозяйственных машин понимается совокупность агрегатов, узлов и деталей, обеспечивающих выполнение одного функционального процесса, действия. В модуле составляющие компоненты имеют функциональные и компоновочные связи. Под компоновочными связями понимается установка отдельных составляющих во взаимосвязи, например, на отдельной раме. Отдельные составляющие могут не иметь компоновочных связей, но иметь функциональную связь.

Модульный принцип построения способствует обеспечению технологической и производственной преемственности на этапе сборки машины. Положенный в основу построения машины модульный принцип позволит расширить возможности создания моделей и модификаций с наименьшими производственными и экономическими затратами. Преимуществом модульного построения являются широкие возможности компоновочных решений, повышение ресурса и существенное снижение эксплуатационных затрат, связанных с обслуживанием и ремонтом машины.

Моторная установка мобильной сельскохозяйственной машины может быть разделена на следующие модули: дизель, устройства очистки поступающего в цилиндры воздуха, выпуск и очистка отработавших газов, система охлаждения, внешнее строение. Все модули имеют функциональное назначение, в совокупной взаимосвязи обеспечивают функционирование дизеля в целом.

СО мобильной сельскохозяйственной машины можно рассматривать как отдельный модуль, включающий блок радиаторов (охлаждения дизеля, охладителя наддувочного воздуха (ОНВ), масляный и др.), вентиляторную установку (вентилятор, направляющий кожух), ЖМТ, жидкостный насос. Функциональное назначение модуля охлаждения – обеспечение заданного температурного режима дизеля, охлаждение наддувочного воздуха и т. д. Рассмотрим построение модульной СО на примере параметрического ряда тракторов «Беларус».

Тракторы «Беларус» выпускаются в диапазоне мощности от 26,5 до 261 кВт и состоят из базовых моделей и модификаций [6, 7, 8]. Представляется, что для тракторов «Беларус» СО можно разделить на модули по мощности применяемых двигателей:

модуль А: дизели мощностью в диапазоне 26,5–66 кВт;

модуль В: дизели мощностью в диапазоне 70–90 кВт;

модуль С: дизели мощностью в диапазоне 96–156 кВт;

модуль D: дизели мощностью в диапазоне 186–261 кВт.

Каждый модуль СО обеспечивает охлаждение дизелей в принятом диапазоне мощности.

Разработка СО мобильных сельскохозяйственных машин, обеспечивающих рентабельность у производителя, невозможна без системных критериев, в основе которых лежат типизация и унификация. Унификация позволяет сокращать сроки и затраты на проектирование, повышать производительность и снижать затраты на производство, повышать качество изделий за счет специализации и комплексной механизации производства, улучшать обслуживание и ремонт за счет взаимозаменяемости. Типизация – одно из направлений проектирования, позволяющее одними составляющими создавать изделия с различными техническими параметрами для параметрического ряда тракторов.

При разработке модульных СО машин рассматривается унификация «по горизонтали», то есть внутри принятого диапазона мощности, и «по вертикали» – между модулями других диапазонов мощности [9, 10].

Тракторы каждого диапазона мощности, как показывают расчеты, могут иметь модульные СО, включающие одного типоразмера жидкостный насос, вентилятор и радиатор. Параметры составляющих модулей СО тракторов «Беларус» приведены в таблице 2. Комплектация дизелей составляющими модулей представлена в таблице 3 [4, 6].

Таблица 2. – Составляющие модулей СО тракторов «Беларус»

Наименование составляющих	Основные рабочие параметры по модулям			
	A	B	C	D
Жидкостный насос (производительность), $G_p, л/мин$	130			
		180		
			250	
				450
Вентилятор (производительность), $G_w, м^3/ч$	4600			
		6600		
			9600	
				16000
Радиатор (поверхность охлаждения), $F, м^2$	15,0			
		23,0		
			25,0	
				36,0

СО рекомендуется оценивать коэффициентом использования поверхности радиатора, равным отношению отводимого количества теплоты для обеспечения заданного температурного режима дизеля к максимально возможной теплорассеивающей способности этого радиатора ( $\epsilon_p$ ), а также коэффициентами использования потока жидкости ( $\epsilon_p$ ) и потока воздуха ( $\epsilon_w$ ). Эти оценочные коэффициенты позволяют количественно оценить способность модулей СО отводить теплоту от двигателя [9, 10].

Таблица 3. – Комплектация дизелей составляющими модулей СО

Наименование составляющих	Применяемость дизелей по модулям охлаждающих систем			
	A	B	C	D
Жидкостный насос	Д-244/Д-242	Д-245.5S2/Д-245.2S3A	Д-260.2	Д-260.4/Д-260.4C
	Д-242C/Д-243	Д-245.5S3A	Д-260.2S2/Д-260.2S3A	Д-260.4S2/Д-260.4S3A
	Д-243.1/Д-243C	Д-245S2	Д-260.1S2/D-260.1S3A	Д-260.4S3A/Д-260.4S3B
	Д-245.5/Д-245.5C		Д-260.4S3B	Д-262S2/BF06M1013FC
Вентилятор	Д-244/Д-242	Д-245.5S2/Д-245.2S3A	Д-260.2	Д-260.4/Д-260.4C
	Д-242C/Д-243	Д-245.5S3A	Д-260.2S2/Д-260.2S3A	Д-260.4S2/Д-260.4S3A
	Д-243.1/Д-243C	Д-245S2	Д-260.1S2/D-260.1S3A	Д-260.4S3A/Д-260.4S3B
	Д-245.5/Д-245.5C		Д-260.4S3B	Д-262S2/BF06M1013FC
Радиатор жидкостный	Д-244/Д-242	Д-245.5S2/Д-245.2S3A	Д-260.2	Д-260.4/Д-260.4C
	Д-242C/Д-243	Д-245.5S3A	Д-260.2S2/Д-260.2S3A	Д-260.4S2/Д-260.4S3A
	Д-243.1/Д-243C	Д-245S2	Д-260.1S2/D-260.1S3A	Д-260.4S3A/Д-260.4S3B
	Д-245.5/Д-245.5C		Д-260.4S3B	Д-262S2/BF06M1013FC

Для оценки составляющих предлагаемых модулей СО воспользуемся количественной оценкой параметров принятых жидкостных насосов, вентиляторов и радиаторов.

На рисунке 2 представлен ряд рекомендуемых для модулей жидкостных насосов, точками отмечены их производительности согласно таблице 2. Заштрихованные области графика представляют запас производительности жидкостных насосов по каждому модулю. Коэффициент использования, например, жидкостного насоса равен отношению расчетного значения производительности к производительности насоса модуля:

$$\varepsilon_V = \frac{G_V}{G_{V.M}}, \quad (6)$$

и находится в пределах: модуль А,  $\varepsilon_V = 0,792-0,977$ ; модуль В,  $\varepsilon_V = 0,843-1,014$ ; модуль С,  $\varepsilon_V = 0,827-1,06$ ; модуль D,  $\varepsilon_V = 0,827-0,986$ .

Разность  $(1 - \varepsilon_V)100\%$  следует рассматривать как коэффициент запаса жидкостного насоса по производительности. Как следует из графика (рисунок 2) и проведенных расчетов, некоторые 4- и 6-цилиндровые дизели не имеют запаса по производительности жидкостных насосов. Но, принимая во внимание характер протекания функции  $Q_V = f(G_V)$ , описывающей перенос теплоты

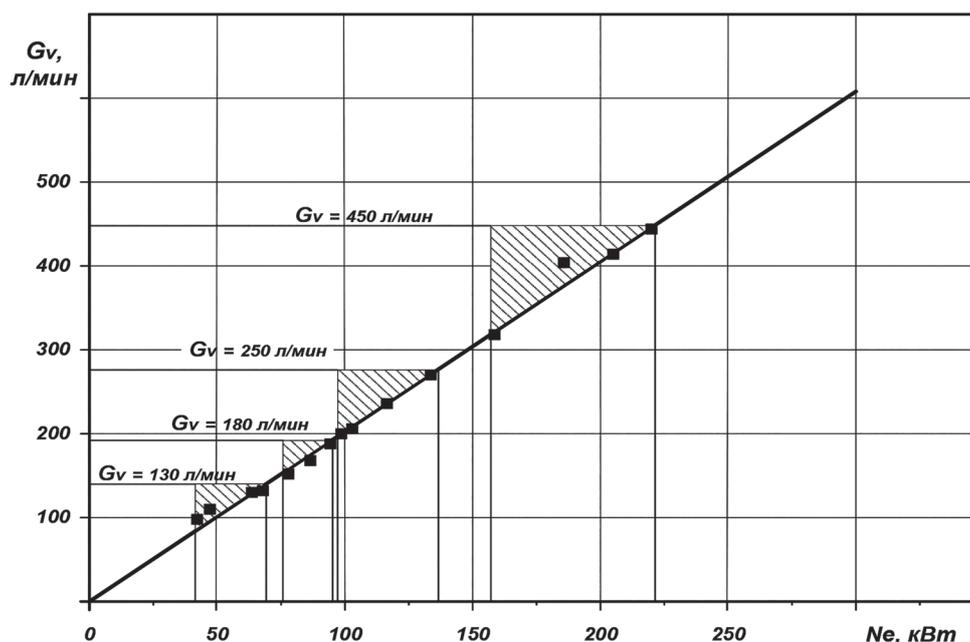


Рисунок 2. – Производительность жидкостных насосов параметрического ряда модулей систем охлаждения

охлаждающей жидкости в зависимости от производительности насоса, и ее влияние на теплопередачу, можно согласиться с производительностью жидкостных насосов и для этих дизелей.

Коэффициент использования вентиляторов  $\varepsilon_W = G_W/G_{W,м}$  по модулям составляет: модуль А,  $\varepsilon_W = 0,805-0,992$ ; модуль В,  $\varepsilon_W = 0,827-0,922$ ; модуль С,  $\varepsilon_W = 0,737-0,992$ ; модуль D,  $\varepsilon_W = 0,704-0,997$ .

При выполнении настоящего исследования построены графики рядов модульных радиаторов в функции охлаждающей поверхности в зависимости от мощности дизелей. Коэффициент использования поверхности радиаторов  $\varepsilon_F = F_P/F_{P,м}$  по модулям равен: модуль А,  $\varepsilon_F = 0,847-1,04$ ; модуль В,  $\varepsilon_F = 0,813-0,978$ ; модуль С,  $\varepsilon_F = 0,678-0,972$ ; модуль D,  $\varepsilon_F = 0,703-0,997$ .

Расчеты показывают, что СО с дизелями Д-243 и Д-245.5 не имеют запаса по охлаждающей поверхности радиаторов. Количественное значение недостающей поверхности охлаждения к охлаждающей поверхности принятого радиатора параметрического ряда составляет 2 и 4 %.

Таким образом, предлагаемые модули СО тракторов с рассматриваемыми дизелями по численным значениям параметров – производительности жидкостных насосов, вентиляторов и радиаторов, обеспечивают расчетные значения и имеют достаточный запас.

Формирование СО приведенными составляющими модулей позволит СО тракторов выполнять унифицированными и типизированными, в том числе и «по вертикали», в рассмотренном диапазоне мощности.

## Выводы

Предложен метод, использование которого позволяет разработчику на этапе выбора конструкции при проектировании выбрать компоненты, составить структурную схему ТС, описать ее, провести нормативную оценку и сопоставить с базовой или существующей системой. Дополнив матрицу новыми компонентами, разработанными на основе новых технических решений и принципов их функционирования, возможно осуществлять прогнозирование дальнейшего технического развития ТС. Морфологический метод на основе матрицы является всего лишь инструментом новых методов проектирования и прогнозирования развития технических систем.

Разработаны модули СО параметрического ряда тракторов «Беларус» при максимальном использовании типизированных и унифицированных составляющих компонентов.

## Литература

1. Якубович, А. И. Системы охлаждения тракторных и автомобильных двигателей. Конструкция, теория, проектирование / А. И. Якубович, Г. М. Кухаренок, В. Е. Тарасенко. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2013. – 473 с.
2. Тарасенко, В. Е. К вопросу проектирования системы охлаждения дизеля сельскохозяйственного трактора / В. Е. Тарасенко, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 239–251.
3. Якубович, А. И. Исследование движения жидкости в каналах системы охлаждения двигателя / А. И. Якубович, В. Е. Тарасенко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2011. – № 1 (14). – С. 41–46.
4. Якубович, А. И. Экономия топлива на тракторах: монография / А. И. Якубович, Г. М. Кухаренок, В. Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2009. – 229 с.
5. Мартино, Дж. Технологическое прогнозирование / пер. с англ. Technological Forecasting for Decisionmaking NEW YORK, 1972. – М.: Прогресс, 1977. – 592 с.
6. Системный выбор энергетических параметров колесных тракторов: справочник / А. И. Бобровник [и др.]. – Минск, БГАТУ, 2011. – 104 с.
7. Тракторы BELARUS. [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <http://www.belarus-tractor.com/catalog/tractors/>. – Дата доступа 24.06.2017.
8. Применение методов унификации и типизации при создании семейства колесных тракторов «Беларус» / И. Н. Усс [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 5. – С. 5–8.
9. Якубович, А. И. Определение поверхности охлаждения радиатора / А. И. Якубович, В. Е. Тарасенко // Вестник БНТУ. – 2009. – № 1. – С. 54–61.
10. Тарасенко, В. Е. Обеспечение температурного режима системы охлаждения дизеля сельскохозяйственного трактора совершенствованием жидкостного и воздушного контуров: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / В. Е. Тарасенко. – Минск, 2009. – 179 л.