

УДК 629.1

**В.Е. Тарасенко**

(УО «БГАТУ»,  
г. Минск, Республика Беларусь)

**А.А. Жешко**

(РУП «НПЦ НАН Беларуси по  
механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)

**К ВОПРОСУ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ  
ДИЗЕЛЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО  
ТРАКТОРА**

**Введение**

На температурный режим дизеля влияет множество факторов. Часть из них учитывается при разработке системы, другая задается граничными условиями. К граничным условиям относятся температура окружающей среды (+35 °С для умеренного климата, +45 °С – для тропического), режим нагрузки дизеля – максимальная эксплуатационная мощность  $N_{e \max}$ .

Тепловое состояние дизеля при определенном сочетании этих факторов может нарушаться, что приводит к переохлаждению или перегреву – к нестационарному температурному режиму. Процесс перегрева дизеля означает превышение допустимой температуры. При заправке системы охлаждения водой, избыточном давлении в жидкостном контуре 0,05–0,07 МПа оптимальная рабочая температура находится в пределах 93–98 °С, тепловое состояние дизеля находится в устойчивом равновесии, в системе охлаждения сохраняется баланс передачи теплоты.

При этой температуре эффективные показатели дизеля принимают наибольшие значения, удельный эффективный расход топлива становится наименьшим. Допустимая температура  $[T_{12}] \leq 105$  °С, температурный напор составляет  $\Delta T_V = 5 \pm 0,5$ °.

**Основная часть**

*Способность системы устранить влияние отрицательных факторов и вернуться в устойчивое тепловое состояние и есть результат тепловой эффективности системы охлаждения.* Правильно спроектированная система охлаждения должна обеспечивать устойчивое равновесное тепловое состояние дизеля при заданных расчетных значениях поверхности охлаждения радиатора и расходах теплоносителей – потока жидкости и воздуха. Превышение поверхности охлаждения выше расчетной приводит к уменьшению удельного количества теплоты с 1 м<sup>2</sup> поверхности, уменьшается эффективность потока воздуха при превышении его расхода. Одновременно увеличиваются расход материалов на изготовление радиатора и затраты мощности на привод вентилятора.

Основной задачей при разработке системы охлаждения является принятие таких параметров радиатора, расхода жидкости и потока воздуха, чтобы обеспечивалось условие теплового баланса при передаче теплоты системой. Непременным при этом, в отличие от проектирования других

агрегатов и узлов трактора, является проведение *теплового расчета*. Тепловой расчет проводится по математическим моделям на основе законов термодинамики, теплопередачи, гидродинамики и аэродинамики.

Условием соответствия системы охлаждения заданным тепловым параметрам выбранного дизеля является тепловой баланс  $\Delta Q_V = \Delta Q_F = \Delta Q_W$ . Только при равенстве составляющих теплоты система охлаждения способна надежно функционировать в условиях эксплуатации. Технические или иные решения обеспечения тепловой эффективности системы охлаждения предполагают обеспечение способности системы безотказно функционировать при воздействии неучтенных возмущающих факторов. К таким факторам относятся температура окружающей среды, нагрузочный режим дизеля в эксплуатации, накипь на внутренних и отложения на внешних поверхностях охлаждения радиатора и др.

При проектировании системы охлаждения параметрического ряда тракторов и достаточном количестве данных по системе охлаждения выбор параметров компонентов проектируемой системы можно с большой вероятностью соответствия проводить по удельным показателям. Такой метод вполне приемлем при проектировании систем охлаждения модификаций тракторов «Беларус» [1].

Обеспечение тепловой эффективности системы охлаждения предполагает, что система разработана в соответствии с законами теплопередачи и при отсутствии возмущающих факторов обеспечивает заданный тепловой режим дизеля в заданных условиях. При невыполнении указанных условий спроектировать работоспособную систему охлаждения не представляется возможным, требуются технические решения повышения тепловой эффективности для обеспечения заданного теплового состояния дизеля. Например, охлаждающая поверхность радиатора ниже требуемой, в этом случае  $\Delta Q_F < \Delta Q_V$ . Обеспечить заданный температурный режим дизеля можно при выборе другого радиатора, с большей поверхностью охлаждения или интенсификацией теплопередачи охлаждающих поверхностей радиатора, т. е. путем увеличения коэффициента теплопередачи  $k_r$ .

Проектирование системы охлаждения на первоначальном этапе предполагает предварительный расчет системы и согласование ее параметров с параметрами и показателями выбранного дизеля. Этот этап проектирования включает шаги, представленные на блок-схеме (рисунок 1) алгоритма выбора и согласования дизеля. *Цель согласования* состоит в том, чтобы параметры и показатели принимаемого дизеля позволили обеспечить баланс передаваемой теплоты от дизеля в охлаждающую жидкость и разработать эффективную систему охлаждения для вновь проектируемого трактора.

Применение приведенного алгоритма рассмотрим на примере следующей задачи.

*Выбрать дизель и разработать систему охлаждения для вновь проектируемого трактора.* Последовательность шагов решения задачи следующая:

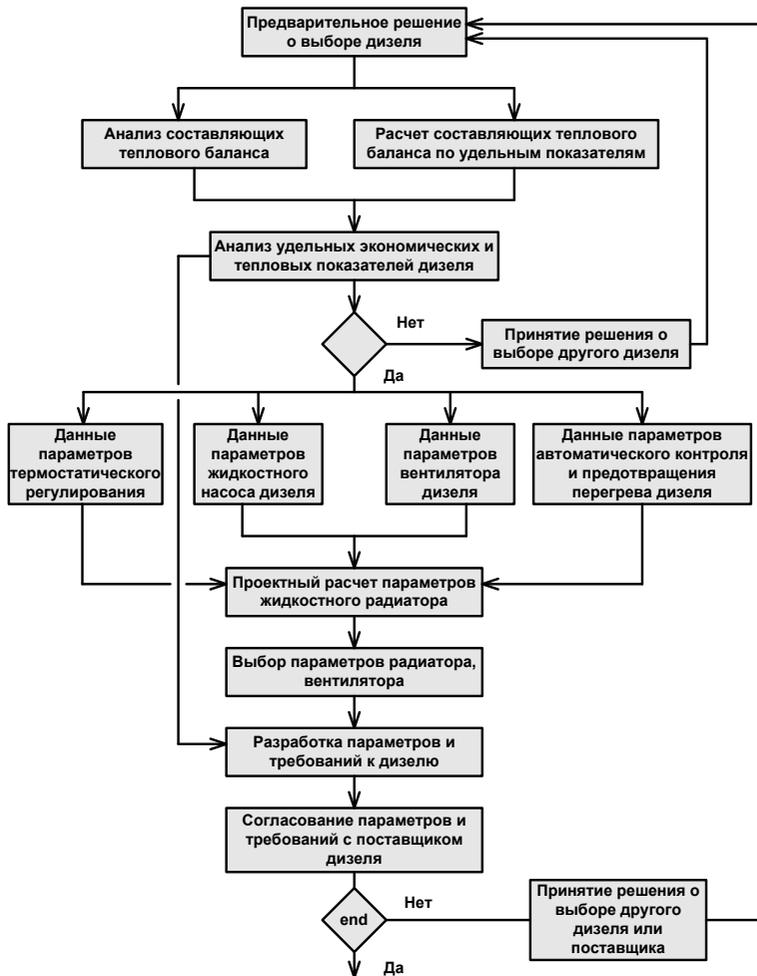


Рисунок 1. – Блок-схема последовательности выбора и согласования дизеля при проектировании системы охлаждения

1. Выбирается дизель из числа имеющихся на рынке, основными техническими показателями выбора являются номинальная мощность ( $N_e$ ) и частота вращения ( $n_e$ ), предусмотренные техническим заданием на проектируемый трактор.

Примечание: другие заданные требования к дизелю, например масса, габаритные размеры, показатели токсичности и т. д., нами не рассматриваются.

2. Запрашиваются у производителя следующие показатели и параметры дизеля: составляющие теплового баланса, эффективный КПД ( $\eta_e$ ), удельный расход топлива ( $g_e$ ), параметры жидкостного насоса ( $G_p$ ), венти-

лятора ( $G_w, n_e, N_e, i_e, D_e$ ), данные термостатического регулирования, данные параметров автоматического контроля и предотвращения перегрева дизеля.

3. Выполняется расчет удельных показателей по составляющим теплового баланса, эффективных показателей, проводится анализ заявленных и расчетных показателей.

При соответствии заявленных показателей расчетным (допускается отклонение 7–8 %) требованиям ТЗ на трактор проводится следующий шаг согласования. При невыполнении этих требований принимается решение о выборе другого дизеля.

4. По данным удельной теплоты, поступающей в охлаждающую жидкость, параметров жидкостного насоса, вентилятора выполняется расчет составляющих баланса теплоты  $\Delta Q_V = \Delta Q_F = \Delta Q_w$ .

При отсутствии данных теплового баланса дизеля, а такие данные разработчики представлять не желают, удельное количество теплоты, поступающей в охлаждающую жидкость системы охлаждения, определяется согласно методу базовой точки по заявленной мощности дизеля [2, 3].

5. Выполняется расчет общей поверхности охлаждения радиатора, прогнозируемого температурного режима дизеля при воздействии различных факторов в эксплуатации, предельной температуры окружающей среды, обеспечивающей работу дизеля без перегрева; уточняются параметры вентилятора.

6. При необходимости по результатам расчетов и анализа разрабатываются дополнительные требования по технико-экономическим показателям, параметрам жидкостного насоса ( $G_V$ ) и вентилятора ( $G_w, n_e, N_e, i_e, D_e$ ) и представляются разработчику дизеля.

7. Заключительное согласование технико-экономических и других требований с поставщиком дизеля.

Решение о выборе дизеля принято, согласованы технико-экономические показатели, параметры системы охлаждения проектируемого трактора. Следующим этапом работ являются компоновка воздушного контура, капота моторного отделения, проектирование или выбор из числа существующих радиатора охлаждения дизеля.

Предложенная последовательность выбора и согласования дизеля проектируемого трактора позволяет на этом этапе выполнить работы, обеспечивающие разработку эффективной системы охлаждения.

Расчет системы охлаждения и радиаторов без достаточных специальных знаний является сложной задачей. Проведенные работы показали, что нет необходимости считать по существующей методике каждый радиатор для каждого нового проектируемого и модернизируемого трактора. Специфика работы каждого сельскохозяйственного трактора одинакова, отличительной является мощность дизеля, и если дизели выполнены по одной схеме, являются модификациями базовой модели, то закономерности тепловыделения в систему охлаждения в целом сохраняются.

Создание баз данных систем охлаждения, определение удельных показателей, коэффициентов входящих в базу систем и на этой основе создание методики расчета системы охлаждения и радиаторов по удельным показателям и коэффициентам позволят проводить согласование дизеля, расчеты, анализ и оценку системы охлаждения начинающему конструктору.

*Алгоритм проектирования системы охлаждения.* Тепловое состояние двигателя – показатель комплексный, зависящий от конструктивных особенностей, параметров как самого двигателя, режимов его работы, так и системы охлаждения, ее компоновки на тракторе, а также условий эксплуатации. Тепловое состояние двигателя существенно влияет на его экономичность и надежность, в этой связи система охлаждения оценивается параметрами и показателями:

- функциональными параметрами, определяющими работоспособность системы;
- конструктивными параметрами, определяющими габариты и массу составляющих компонентов, их компоновку на тракторе;
- эксплуатационными показателями, определяющими надежность.

В качестве критерия оценки этих требований принят параметр, оценивающий тепловое состояние двигателя – температурный режим охлаждающей жидкости и смазочного масла.

Сформулируем отмеченные основные требования, предъявляемые к системе охлаждения двигателей тракторов при ее проектировании, в развернутом виде. Система охлаждения должна обеспечивать:

- минимальные габаритные и массовые параметры радиаторов, теплообменников и других узлов;
- минимальные затраты мощности на привод обслуживающих систему агрегатов;
- достаточный перенос теплоты от двигателя к радиатору в жидкостном тракте и возможно большую равномерность температуры цилиндров и поршней;
- высокую эффективность радиаторов по передаче теплоты при максимальной компактности и небольшом аэродинамическом сопротивлении;
- наименьшее аэродинамическое сопротивление воздушного тракта при максимальном использовании его возможностей для обеспечения передачи теплоты радиаторами потоку воздуха;
- удобство обслуживания и ремонта агрегатов и узлов системы;
- высокую экологическую чистоту системы (при эксплуатации не должны выделяться пары и просачиваться низкотемпературные жидкости).

Критерий оценки этих требований – функциональная работоспособность системы в заданных условиях при минимальных экономических затратах на изготовление и в эксплуатации, достаточная надежность.

Срок службы системы охлаждения должен быть равным сроку службы трактора. При этом необходимо обеспечить эксплуатационно-техниче-

ский запас системы по тепловой эффективности без увеличения массы поверхности охлаждения радиаторов, т. е. за счет повышения эффективности вспомогательных узлов и компоновки воздушного тракта.

На производительность и другие показатели тракторного агрегата в значимой степени влияют параметры систем моторной установки, в том числе и системы охлаждения. Поэтому одно из направлений работ по повышению технического уровня тракторов – совершенствование конструкции и выбор оптимальных параметров этих систем.

Основные принципы проектирования систем охлаждения тракторов заключаются в следующем:

- использование проектируемых систем охлаждения как на базовой модели, так и на модификациях всего семейства или подсемейства тракторов в заданном диапазоне мощности;

- обеспечение высоких технико-экономических показателей тракторов и их модификаций при использовании разрабатываемых систем на прогнозируемый период производства;

- возможность повышения технического уровня тракторов путем совершенствования систем на основе достижений науки и техники;

- технологическая и производственная преемственность с системами и их узлами параметрического мощностного ряда тракторов.

Проектирование системы охлаждения представляет собой многоэтапный процесс. Каждый из этапов характеризуется своими целями и определяется решаемыми задачами. Основными этапами создания системы являются:

1. Анализ ТЗ на трактор, параметров устанавливаемого на трактор двигателя, поиск аналогов систем охлаждения, разработка технического задания на систему.

2. Расчет, оптимизация параметров системы охлаждения, ее составляющих компонентов.

3. Согласование параметров системы охлаждения и двигателя.

4. Компоновка системы охлаждения, ее составляющих компонентов.

5. Разработка конструкторской документации.

6. Изготовление деталей, сборка макетного образца системы в составе с двигателем.

7. Испытание макетного образца системы в тепловой камере на стенде в составе с двигателем.

8. Доработка КД по результатам испытаний, изготовление деталей.

9. Сборка опытного образца системы охлаждения в составе с трактором.

10. Эксплуатационные испытания, проверка работоспособности и надежности.

11. Доработка КД и ее выдача в подготовку производства.

Особое значение имеет первый этап. На этом этапе определяется перечень внешних факторов, действующих на систему, в том числе назначение

трактора, основные агрегируемые с ним сельскохозяйственные машины и орудия, условия окружающей среды, в которых будет эксплуатироваться трактор. Определяются и учитываются численные значения внешних факторов, действие которых возможно на проектируемую систему охлаждения. По данным принятого для установки на трактор двигателя – мощности, частоте вращения коленчатого вала, расходу топлива, определяются численные значения количества теплоты, которое необходимо отвести системой охлаждения, чтобы обеспечить требуемый температурный режим двигателя. На этом этапе обосновываются показатели эффективности, надежности и долговечности, их количественные значения. Если разрабатываемый трактор является базовой моделью, проводится анализ планируемых к разработке модификаций. При разработке системы охлаждения трактора, входящего в параметрический мощностной ряд, рассматриваются модели тракторов, мощность которых меньше на 30...50 % по сравнению с разрабатываемыми, и прогнозируемое увеличение их мощности в последующем.

На этом этапе рассматриваются общие требования к системам охлаждения тракторов, регламентирующие численные значения температуры теплоносителей, удельные показатели водяного насоса, вентилятора, радиатора и других теплообменников, допустимые затраты мощности на привод энергопотребляющих узлов системы.

Полученные данные позволяют определить модели тракторов и автомобилей, системы охлаждения которых могут быть приняты в качестве аналогов проектируемой системе.

По результатам проведения работ первого этапа разрабатывается техническое задание на проектирование системы охлаждения. К техническому заданию прилагается пояснительная записка, содержащая сведения о разработанных и используемых системах охлаждения, анализ результатов исследований систем, перспективы модернизации разрабатываемой системы, обоснование показателей эффективности и надежности, по которым предполагается оценивать качество системы, и количественные требования к ней. В записке указываются конструкторские подразделения, которые необходимо привлечь к созданию системы охлаждения.

На втором этапе проектирования разрабатывается структурная схема системы охлаждения, определяются основные составляющие компоненты, их взаимодействие с конструктивными особенностями двигателя и внешнего строения трактора. Рассматриваются варианты компоновки радиатора и его взаимодействия с установленным на двигателе вентилятором.

На этом этапе проектирования проводится расчет теплотехнических параметров системы охлаждения, определяющих численное значение количества теплоты, которое необходимо отвести от двигателя, требуемый расход жидкого теплоносителя для отвода теплоты от цилиндров и расход потока воздуха для отвода теплоты от радиатора. Полученные данные позволяют провести расчет поверхности охлаждения радиатора. Расчет

проводится по математическим моделям систем охлаждения, которые основаны на фундаментальных законах термодинамики и теплотехники. В качестве математической модели расчета рекомендуется принимать приведенный метод линейного моделирования процессов в системе охлаждения. Качественное отличие его от других математических моделей и методик в том, что приведенный метод расчета позволяет рассматривать и анализировать принимаемые основные параметры системы – поверхность охлаждения, расход теплоносителей во взаимосвязи, и видеть динамику их изменения на строящихся графических моделях.

Следующим шагом расчета является определение значений температур теплоносителей и поверхности охлаждения, их перепадов, а также возможного увеличения температуры охлаждающей жидкости при увеличении температуры окружающей среды, снижении расхода воздуха через радиатор и влиянии других внешних факторов на функционирование системы охлаждения. В качестве математической модели расчета рекомендуется принимать приведенный метод линейного моделирования процессов в системе охлаждения. Качественное отличие его от других математических моделей в том, что приведенный метод расчета позволяет рассматривать и анализировать принимаемые основные параметры системы – поверхность охлаждения, расход теплоносителей, во взаимосвязи и видеть динамику их изменения, влияния на температуру жидкости на строящихся графических моделях. По результатам расчета и моделирования системы охлаждения принимаются окончательные значения расходных параметров теплоносителей и поверхности охлаждения проектируемой системы.

По полученным данным расчета рассматриваются варианты исполнения радиатора, принимается тип охлаждающей поверхности (ленточный или пластинчатый), выполняются расчеты конструктивных параметров охлаждающих трубок и их компоновки в сердцевине, охлаждающей поверхности и ее компоновки, проводится выбор материала для поверхности охлаждения. Окончательный вариант исполнения радиатора принимается с учетом возможности обеспечения заданного температурного режима двигателя в соответствии с техническим заданием.

По расчетным данным требуемого расхода теплоносителей рассчитываются параметры производительности водяного насоса и вентилятора, затраты мощности на их привод. Полученные данные позволяют оценить соответствие расходных параметров установленных на двигатель водяного насоса и вентилятора требуемым, расчетным. При необходимости готовится предложение разработчику или поставщику двигателя по корректировке параметров водяного насоса и вентилятора, входящих в комплектацию двигателя.

Согласование параметров двигателя и системы охлаждения выполняется на следующем этапе проектирования, где рассматриваются параметры термостатического регулирования, тип применяемого термостата; конструктивное исполнение рубашки охлаждения, компоновка и устано-

вочные параметры водяного насоса, подача насоса и давление нагнетания, а также компоновочные параметры вентилятора, его привод и способ регулирования потока воздуха. По результатам выполненных работ двигатель согласовывается, или предлагается рассмотреть двигатель заданных мощностей и экономических показателей другого производителя.

Компоновочные работы, выполняемые на следующем этапе, предшествуют разработке КД узлов и деталей системы охлаждения. При компоновке система охлаждения согласовывается с двигателем и внешним строением моторного отделения. На этом этапе проектирования системы особое внимание должно быть уделено определению установочных параметров вентилятора, их оптимальное значение позволяет без материальных и энергетических затрат обеспечить максимальный расход воздуха через воздушный тракт. Конструкция капота, его установка на тракторе должны обеспечивать обдув наружных поверхностей двигателя, выход воздуха из моторного отделения. Компоновка системы охлаждения позволяет разработать конструкторскую документацию и приступить к изготовлению деталей.

Следующим важным этапом проектирования является изготовление физического макетного образца системы. Макетирование системы целесообразно проводить на тормозном стенде, на котором установлен применяемый на тракторе двигатель. Макетная установка включает двигатель, систему охлаждения и капот, устанавливаемый на тракторе. На макетах, как правило, действующих, проверяют оптимальность установочных параметров вентилятора, радиатора, проходных сечений по воздуху лобовой решетки облицовки, выходных сечений воздуха из-под капота моторной установки. Система охлаждения в полной имитации моторного отделения трактора подвергается испытанию в тепловой камере. Тепловая камера обеспечивает создание условий умеренного климата (+35 °С) и тропического (+45 °С). На специальных стендах при исследованиях вентиляторных установок, аэродинамических характеристик воздушного тракта, капотов, жидкостного тракта имитируют режимы и условия, близкие к эксплуатационным. Основная цель испытаний заключается в определении функциональной работоспособности системы охлаждения, определении температуры охлаждающей жидкости при максимальной температуре окружающей среды. При исследованиях макетных моторных установок в тепловой камере определяют функциональную работоспособность, критическое состояние узлов, агрегатов и деталей, обеспечение заданных требований. На этом этапе, как правило, проводят сравнительные исследования нескольких вариантов конструктивного исполнения проектируемой системы охлаждения для определения наиболее эффективного варианта, выявляют зависимости между параметрами отдельных узлов и деталей контура охлаждения двигателя. Технико-экономические показатели двигателя определяются при его торможении в полной комплектации с системой охлаждения.

Стендовые исследования и испытания систем охлаждения моторных установок позволяют выявлять недостатки системы и устранять их в ходе проектирования, сокращают сроки отработки конструкции в 2...3 раза. Макетирование и испытание макетного образца системы охлаждения в тепловой камере были применены и отработаны при создании универсально-пропашных тракторов класса 1,4–2,0 на Минском тракторном заводе.

В последующем разработанная система охлаждения устанавливается на трактор для проведения эксплуатационных испытаний. По результатам испытаний при необходимости дорабатывается конструкторская документация и выдается в подготовку производства.

***Метод оценки совершенства конструкции системы охлаждения.***

По результатам проведенных исследований и анализа работ других исследователей по этой тематике сформулируем основные приоритетные положения, которые следует учитывать при проектировании системы охлаждения:

◀ конструкции моторного отделения и капота должны обеспечивать циркуляцию потоков воздуха вдоль поверхностей блока дизеля, создавать минимальное аэродинамическое сопротивление, обеспечивать свободный выход воздуха из-под капота;

◀ установка вентилятора относительно радиатора в поперечной и продольной плоскостях должна обеспечивать наибольшую ометаемость охлаждающих поверхностей радиатора и наибольший расход воздуха;

◀ установка радиатора относительно капота должна полностью исключать перетекание нагретого воздуха из моторного отсека в предрадиаторную зону воздушного контура;

◀ тепловыделяющие и другие узлы в предрадиаторной зоне должны быть установлены таким образом, чтобы поток воздуха, поступающий к сердцевине радиатора, был сплошным и равномерно распределялся по фронту радиатора;

◀ передние сетки элементов маски капота должны иметь минимальное аэродинамическое сопротивление и обеспечивать максимальное задержание пыли, растительных остатков.

Эти рекомендации являются пассивными, т. е. не требуют увеличения мощности на привод вентилятора, расхода материалов, и выполняются при компоновке системы охлаждения.

Представленная на рисунке 2 блок-схема содержит перечень задач, с помощью которых можно обеспечить эффективность системы охлаждения. Далее систематизируются возможные варианты технических решений задач. Таким образом, поставленная цель может достигаться множеством подходов.

Структура блок-схемы представляет собой дерево целей для поиска возможного направления обеспечения эффективности системы охлаждения или для устранения перегрева дизеля. Одновременно эта блок-схема

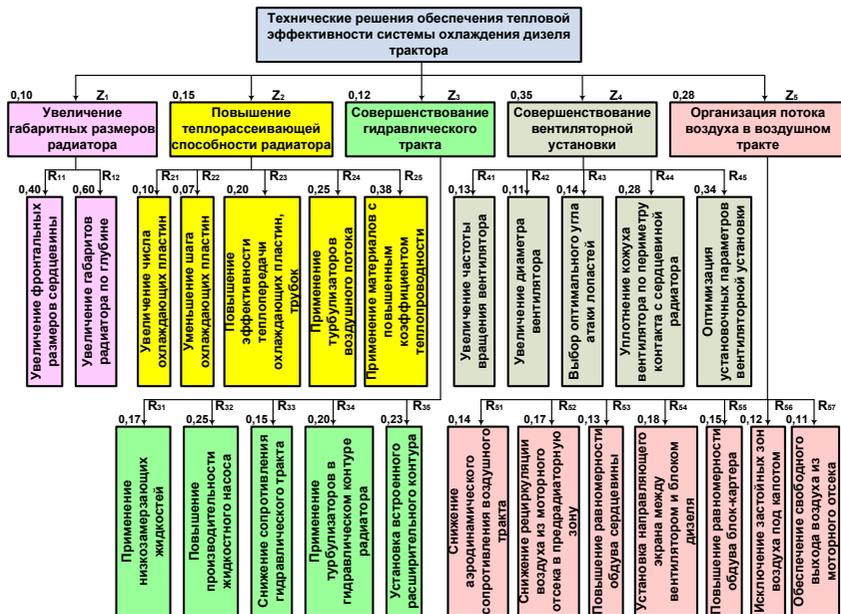


Рисунок 2. – Блок-схема нормативной оценки обеспечения эффективности системы охлаждения

описывает и систематизирует возможные технические решения поставленных задач. В таком виде данное дерево целей носит описательный характер и никак не позволяет оценить эффективность каждого направления.

В работе [4] Joseph P. Martino описывает нормативный метод оценки каждой задачи с помощью *коэффициентов относительной важности*. Воспользуемся этим методом и оценим каждую из задач, исходя из технологических возможностей, прогнозируемого увеличения материалоемкости компонентов системы и возможного увеличения энергетических затрат на привод жидкостного насоса и вентилятора. Коэффициент относительной важности каждой из задач, соответственно, равен 0,1; 0,15; 0,12; 0,35 и 0,28. Отметим, что сумма коэффициентов всех задач равна единице.

Каждая из задач может иметь различные технические решения. Оценим эти решения по тем же критериям и присвоим им также значение *коэффициента относительной важности*. Сумма коэффициентов технических решений каждой задачи, соответственно, равна единице (рисунок 2).

Поставленная цель может быть достигнута при реализации одного из технических решений. Нормативной оценкой каждой из задач является произведение коэффициентов по вертикали. Большее значение коэффи-

циента свидетельствует о важности и эффективности по принятым критериям решения задачи. Например, эффективность системы охлаждения можно обеспечить увеличением охлаждающих поверхностей радиатора ( $Z_1$ ) путем увеличения фронтальных габаритов ( $R_{11}$ ) или числа рядов трубок по глубине ( $R_{12}$ ). Произведения коэффициентов в каждом из подходов, соответственно, равны  $0,1 \cdot 0,4 = 0,04$  и  $0,1 \cdot 0,6 = 0,06$ . Из этого следует, что подход  $R_{12}$  важнее и эффективнее подхода  $R_{11}$ .

Аналогичным образом оценим возможные решения задач, представленных на блок-схеме рисунка 2. Результаты расчета по одному из возможных технических решений представлены в таблице 1.

Из анализа по приведенным коэффициентам следует, что более рационально обеспечение эффективности системы охлаждения путем оптимизации установочных параметров вентиляторной установки, так как это техническое решение позволяет увеличить расход воздуха через радиатор без увеличения материалоемкости и энергетических затрат. Вторым мероприятием по эффективности является организация циркуляции потока воздуха в воздушном контуре моторного отсека под капотом.

Предлагаемый вероятностный метод позволяет производить оценку принимаемых технических решений по заданным коэффициентам относительной важности. Вместе с тем такой анализ решения технических задач может быть полезен при выборе одного варианта подхода из множества, но признавать его безусловно точным нельзя, т. к. в этом методе существует субъективный фактор при назначении коэффициентов относительной важности.

Назначение и выбор коэффициентов по качественным критериям или совокупности статистических данных позволит создать программный продукт анализа и оценки прогнозируемых решений, исключив из него субъективность принимаемого решения.

Применение программных средств и компьютерных технологий при разработке системы охлаждения по предлагаемым методикам приведет к

Таблица 1. – Расчет оценки возможных технических решений

Задача	Оценочный коэффициент принимаемого технического решения				
	$R_{11}$	$R_{22}$	$R_{32}$	$R_{45}$	$R_{54}$
$Z_1$	0,04				
$Z_2$		0,0105			
$Z_3$			0,018		
$Z_4$				0,119	
$Z_5$					0,0476

сокращению сроков проведения проектных работ. Методы оптимизации, линейного моделирования, оценки применяемых технических решений позволят проводить расчеты с достаточной степенью точности и получать результаты, обеспечивающие рабочие процессы системы охлаждения в соответствии с требованиями по заданным данным, создавать надежные и безотказные системы охлаждения.

### **Заключение**

Согласование параметров проектируемой системы охлаждения и двигателя является важным этапом системного проектирования охлаждения двигателя трактора. Приведенные этапы алгоритма согласования позволяют на стадии проектирования принимать обоснованные решения и увязывать их с характеристикой двигателя, что значительно сокращает сроки и стоимость создания систем, обеспечивает безотказность и надежность работы системы в эксплуатации.

Разработан алгоритм создания конструкции системы охлаждения моторной установки трактора. Основные этапы – разработка ТЗ на систему, расчет, моделирование, макетирование, стендовые и эксплуатационные испытания – имеют обратную связь, позволяющую корректировать исходные данные, создавать многовариантность проверяемых решений, что дает возможность на этапе проектирования принимать обоснованные технические решения.

Предложен вероятностный метод, позволяющий проводить оценку принимаемых технических решений по заданным коэффициентам относительной важности, что способствует принятию наиболее оптимальных решений при проектировании и совершенствовании систем охлаждения.

*17.03.2015*

### **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. 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.
3. Тарасенко, В.Е. Метод расчета количества теплоты, поступающей в жидкостный теплоноситель системы охлаждения в обобщенных переменных по базовой точке / В.Е. Тарасенко // Двигатели внутреннего сгорания: актуальные проблемы и пути решения: материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 60-летию автотракт. фак. и 50-летию кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» БНТУ, Минск, 24–28 окт. 2011 г. / Белорус. национ. техн. ун-т; редкол.: Г.М. Кухаренок [и др.]. – Минск, 2011. – С. 175–182.
4. Мартино, Дж. Технологическое прогнозирование / Дж. Мартино; пер. с англ. Technological Forecasting for Decisionmaking NEW YORK, 1972. – М.: Прогресс, 1977. – 592 с.