

ровностям рельефа шина может лопнуть. Поэтому создание динамической системы регулирования такой шины позволило бы резко улучшить эксплуатационные свойства шины при движении под нагрузкой, сохранив при этом низкое давление в контакте.

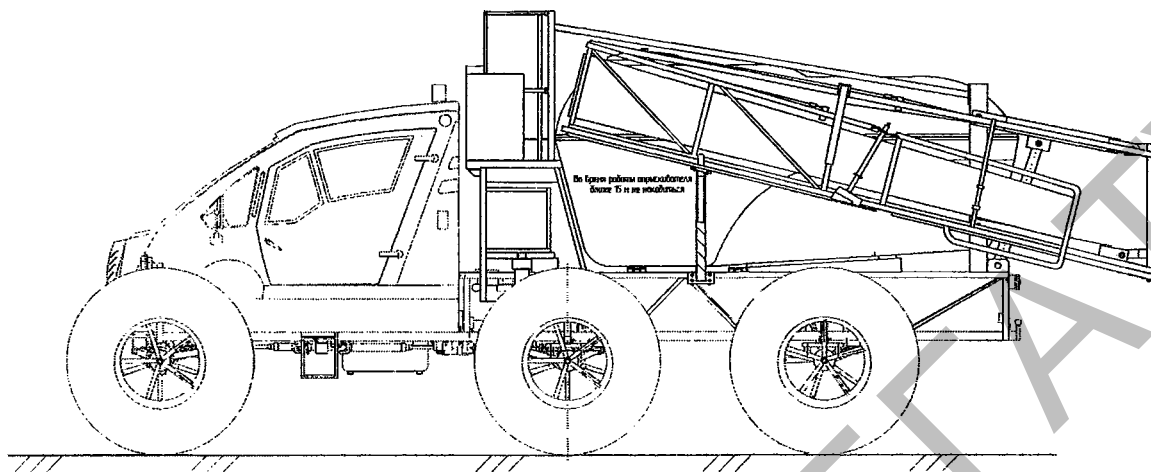


Рисунок 3. Трехосное самоходное шасси на оболочковых шинах

Выводы

Приведенным перечнем наукоемких нетрадиционных мобильных средств и их компонентов нельзя ограничиться. Изыскание экспортной ниши в международном разделении труда следует продолжить. Ставка на мало-наукоемкую технику, учебники и образование снижает востребованность в инновациях. Личный опыт показывает, что на данном этапе внедрение инноваций в технике и образовании сталкивается с большими трудностями, так как отрицание традиционных подходов приводит к конфликтным ситуациям. Необходимы новые организационные формы разработки перспективных научно-технических идей.

Литература

1. Долгожданный прогресс. Проект унификации бортовой электроники сельхозмашин продвигается. / Новое сельское хозяйство, 2004, №5 с. 92...93.
2. Строк Е.Я. и др. Управление навесным устройством трактора с использованием средств электрогидравлики и автоматики / Приводная техника. №4. – 2005. – С.42-47.
3. Горин Г.С., Захаров А.В. Автоматические устройства регулирования пахотных агрегатов// Перспективная техника и технологии-2006: материалы II междунар. науч.-практ. конф. студ. и мол. уч., Николаев, Украина, 14-16 сентября 2006г./ НГАУ. - Николаев, 2006. – С. 69-71.
4. Горин Г. С., Сильченко А. А., Миранович О. Л. Основы теории, расчёта и устройства малогабаритных средств мобильной энергетики. ч.1. Мн. БГАТУ, 2003. – 98 с.

УДК 629.114.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЯ ТРАКТОРА «БЕЛАРУС-3022ДВ»

**Якубович А.И., Тарасенко В.Е., Варфоломеева Т.А (БГАТУ),
Стецко П.А., Голод С.В. (РУП «Минский тракторный завод»)**

Представлена информация о результатах выполненного исследования системы охлаждения дизеля трактора «Беларус-3022ДВ», предложен алгоритм согласования параметров дизеля и систе-

мы охлаждения, даны предложения по совершенствованию ее конструкции, обеспечивающему требуемый температурный режим и снижение потребляемой мощности на привод вентилятора.

Введение

Расширение производства тракторов «Беларус» повышенной мощности с применением форсированных тракторных дизелей ставит перед конструкторами ряд задач, среди которых одной из основных является проблема эффективного и рационального охлаждения. Сложность работ в этой области состоит в том, что требуется проведение многочисленных экспериментальных исследований, когда результаты теоретических расчетов и конструктивных решений должны постоянно находить подтверждение практическими результатами по совершенствованию системы охлаждения (СО).

Применительно к трактору «Беларус-3022ДВ» отметим, что при непродолжительной работе в условиях повышенной температуры окружающей среды на номинальной мощности, температурный режим двигателя приобретает характер, граничащий с предельно допустимым по температуре жидкостного теплоносителя. Ситуация усугубляется большой вероятностью загрязнения заборных сеток маски капота, сердцевин теплообменных аппаратов в процессе выполнения сельскохозяйственных операций, необходимостью включения кондиционера.

Все это явилось основанием для проведения комплекса работ по тщательному исследованию существующей конструкции СО трактора «Беларус-3022ДВ» с дизелем International 530E/DDC S 40E, изучению многих литературных источников и патентных документов по данной проблеме, рассмотрения конструкций СО моделей тракторов зарубежных производителей, проведения работ по модернизации существующей конструкции СО [1].

Цель проведения комплекса работ: выполнить исследования теплового режима СО двигателя и нагнетаемого воздуха. Подготовить предложения по конструктивному исполнению систем и облицовки, обеспечивающему заданный тепловой режим двигателя и нагнетаемого воздуха.

Тепловой режим дизелей серийных тракторов

Оценка температурного режима СО дизеля выполнена на ряде тракторов «Беларус-2522ДВ» и «Беларус-3022ДВ» в серийном исполнении путем нагружения дизеля трактора до номинальной мощности с помощью тормозного стенда как в условиях бокса, так и в условиях открытого пространства. Результаты этого этапа исследований представлены в таблице 1.

Как следует из данных таблицы 1, при эксплуатации тракторов «Беларус-3022ДВ» в условиях умеренного климата при температуре окружающей среды +22,0°C (трактор «Беларус-3022ДВ» №30200362) становится возможным возникновение проблемной ситуации с СО дизеля по причине предельной температуры охлаждающей жидкости. Следует также учитывать, что результаты получены без учета работы кондиционера, функционирование которого будет дополнительно усугублять ситуацию с температурным режимом дизеля трактора.

Таблица 1. Температурный режим систем охлаждения дизелей тракторов «Беларус-2522» и «Беларус-3022» в серийном исполнении

Модель и № трактора	Прочие условия	Состояние муфты привода вентилятора									
		Муфта заблокирована					Муфта разблокирована				
		$T_{окр},$ °C	$N_e,$ кВт	$T_{V2},$ °C	$T_M,$ °C	$T^*,$ °C	$T_{окр},$ °C	$N_e,$ кВт	$T_{V2},$ °C	$T_M,$ °C	$T^*,$ °C
«Беларус-3022ДВ» №30200362	штатный термостат	25,5	201	103	118	113	25,5	168	105	120	120
«Беларус-3022ДВ» №30200366	штатный термостат	21	201	95	107	110	23	206	101	113	113
«Беларус-3022ДВ» №302200151	штатный термостат	24	208	99	113	110	24	211	103	114	113

«Беларус-2522ДВ»	при 175 кВт	12	155	76	99	102	—	—	—	—	—
«Беларус-2522ДВ»	при 175 кВт	38,4	170	104	—	101	—	—	—	—	—

Примечания:

$T_{окр}$ – температура окружающей среды, °С;

Ne – номинальная мощность дизеля трактора, кВт;

$T_{\nu 2}$ – температура охлаждающей жидкости на выходе из дизеля, °С;

T_M – температура масла, °С;

T^* – приведенная температура. Получена для условий +35°С и для мощности 205 кВт с учетом следующих поправок: изменение температуры окружающей среды на 1° влечет изменение температуры жидкостного теплоносителя на 1°, изменение мощности дизеля трактора на 7 кВт влечет за собой изменение температуры жидкостного теплоносителя на 1°.

Экспериментальное исследование системы охлаждения

Программой экспериментальных теплотехнических исследований предусматривалось исследовать влияние основных конструктивных параметров системы охлаждения и режимов работы дизеля трактора «Беларус-3022ДВ» на протекание процессов теплопередачи. С этой целью на базе испытательного центра «Трактор», ПО «МТЗ» была разработана экспериментальная установка (рисунок 1) [2, 3].



Рисунок 1. Экспериментальная конструкция системы охлаждения:

- 1 – жидкостный радиатор; 2 – вентилятор «Cleanfix» с изменяющимся углом наклона лопастей;
- 3 – кронштейн крепления радиатора;
- 4 – направляющий экран; 5 – элемент облицовки (верхний капот); 6 – направляющий кожух

том ометания $\lambda_B = 1307$; определить оптимальные по расходу воздуха установочные параметры вентилятора:

- зазор между лопастями вентилятора и кожухом диффузора $\Delta R = 15$ мм;
- выступание лопастей из кожуха диффузора $\Delta B = 20$ мм.

Проведены замеры скорости потока воздуха перед жидкостным радиатором системы охлаждения при различных компоновках теплообменников радиаторного отсека, предложенная экспериментальная установка позволяет увеличить скорости потока воздуха перед фронтом радиатора системы охлаждения до 23%.

Конструкция экспериментальной установки позволяла варьировать следующие факторы:

Экспериментальная установка представляет собой полнокомплектный трактор «Беларус-3022ДВ» с дизелем *International DTA 530E (1-308) / DDC S 40E*, на месте установки серийного радиатора смонтирован радиатор с измененным расположением подводящего патрубка. Характерной особенностью установки является создание компоновки воздушного тракта трактора с направляющим экраном за вентиляторной установкой, а также изменения конструкции элементов капотирования (верхнего капота, боковых щитов, передней маски капота).

Проведенные исследования компонентов воздушного контура [4, 5], в том числе 3-х вариантов вентиляторной установки позволили рекомендовать 9-ти лопастной вентилятор «Cleanfix» Ø 620 мм с передаточным отношением 1,33, коэффициентом обдува $K_{об} = 0,603$ и коэффициентом

- смещение радиатора относительно лопастей вентилятора L в горизонтальной плоскости;
- частоту вращения вентилятора n_B подбором требуемого передаточного отношения с помощью сменных шкивов;
- угол наклона лопастей крыльчатки вентилятора φ .

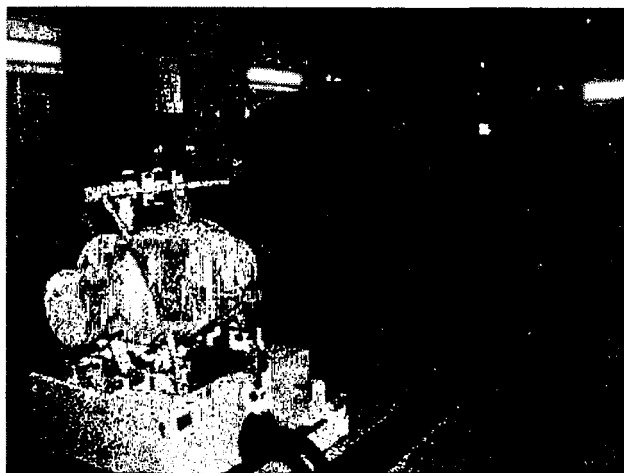


Рисунок 2. Торможение дизеля
экспериментального трактора
«Беларус-3022ДВ»

Измерения проводились с использованием стенда для испытаний тракторов путем загрузки дизеля через задний ВОМ трактора на гидравлическом тормозе *HORIBA DT 2100* (рисунок 2). При установившемся температурном режиме дизеля трактора в условиях бокса (имитировались условия тепловой камеры с созданием температуры $+35^{\circ}\text{C}$) производилась регистрация параметров жидкостного и воздушного теплоносителей на входе и выходе из радиатора.

Так как конструктивно сердцевина радиатора неизменна, то в качестве постоянных величин принято значение общей поверхности охлаждения радиатора $F = \text{const}$ (m^2), а также значение коэффициента теплопередачи $k_T = \text{const}$ ($\text{Вт}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$). Наряду с отмеченными параметрами также контролировалась температура воздуха в воздушном фильтре, на входе в ТКР (турбокомпрессор), на выходе с ТКР и после радиатора ОНВ (охлаждения наддувочного воздуха) на входе в дизель.

Априорным ранжированием факторов были выявлены наиболее важные из них и реализован многофакторный эксперимент. По результатам обработки экспериментальных данных было получено уравнение регрессии

$$y = 192,71 - 1,89x_1 + 1,65x_2 + 1,74x_3 - 2,74x_1^2 - 2,54x_2^2 + 2,64x_3^2 - 3,15x_1x_2.$$

где y – функция отклика (теплоотдача от поверхности охлаждения жидкостного радиатора Q_F , кВт);

$x_1 = -1; 0; 1$ – частота вращения крыльчатки вентилятора ($n = 2745; 2945; 3145 \text{ мин}^{-1}$);

$x_2 = -1; 0; 1$ – горизонтальная координата расположения радиатора относительно крыльчатки вентилятора ($L = 0,02; 0,09; 0,16 \text{ м}$);

$x_3 = -1; 0; 1$ – угол наклона лопастей крыльчатки вентилятора ($\varphi = 20; 45; 70 \text{ град.}$).

Анализ уравнения регрессии позволил определить значения факторов, при которых обеспечивается процесс теплоотдачи с максимальным использованием единицы поверхности охлаждения сердцевины жидкостного радиатора: $n_B = 2780 \text{ мин}^{-1}$, $L = 0,148 \text{ м}$, $\varphi = 37 \text{ град.}$

На рисунках 3–5 представлены поверхности отклика, характеризующие зависимость интенсивности теплоотдачи Q_F от значимых факторов.

Доработки и усовершенствования системы охлаждения дизеля *International DTA 530E (1-308) / DDC S 40E* трактора «Беларус-3022ДВ» позволили обеспечить заданный тепловой режим дизеля (при температуре окружающей среды $+35^{\circ}\text{C}$ установившаяся температура охлаждающей жидкости на выходе из дизеля составила 96°C).

Эксплуатационные испытания трактора «Беларус-3022ДВ» явились конечным этапом проводимых исследований и позволили в условиях реальной эксплуатации провести оценку эффективности функционирования системы охлаждения в новом исполнении. При полевых испытаниях на пахоте с 8-ми корпусным плугом (рисунок 6) и создании максимально тяжелых условий работы трактора расчетная температура охлаждающей жидкости по полученным данным при приведении к температуре окружающей среды +35°C составила 96°C с включенным кондиционером (таблица 2).

Обеспечение тепловой эффективности системы охлаждения дизеля трактора «Беларус-3022ДВ» на основе теоретических разработок и экспериментального исследования позволило обеспечить безотказную работу трактора в условиях эксплуатации.

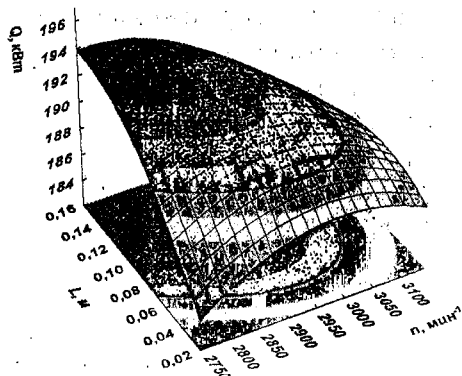


Рисунок 3. Зависимость теплоотдачи поверхности охлаждения радиатора от горизонтальной координаты его расположения относительно вентилятора L и частоты вращения крыльчатки вентилятора n_B

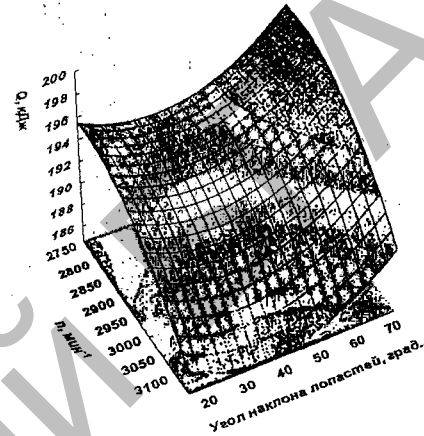


Рисунок 4. Зависимость теплоотдачи поверхности охлаждения радиатора от частоты вращения крыльчатки вентилятора n_B и угла наклона лопастей ϕ

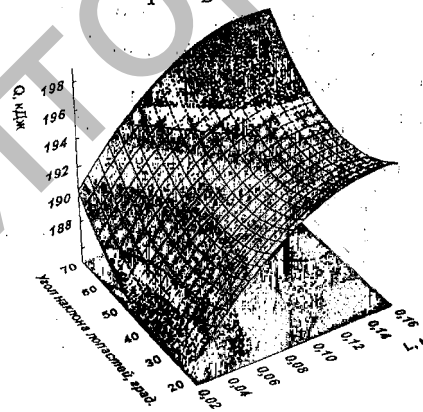


Рисунок 5. Зависимость теплоотдачи поверхности охлаждения радиатора от угла наклона лопастей ϕ и горизонтальной координаты его расположения относительно вентилятора L

Таблица 2. Результаты оценки температурного режима в условиях эксплуатации

Особенности работы вязкостной муфты	Температура охлаждающей жидкости, °C	Приведенная температура (T*)	Температура масла, °C	Обороты двигателя, мин-1	Скорость движения трактора, км/ч	Температура окружающей среды, °C
Заблокирована	89...91	97	104...106	1900...2250	8,5...9,5	29
Разблокирована	93...97	103	106...107	1900...2250	8,5...9,5	29
Заблокирована	90...95	101	106...107	1900...2250	8,5...9,5	29

Из полученных данных следует:

– температура охлаждающей жидкости на выходе из двигателя находится в пределах 90...95°C при заблокированной вязкостной муфте вентилятора и 93...97°C – при не заблокированной муфте, при температуре внешней среды 29°C;

– приведенная температура (T^*) при 35°C температуре внешней среды будет равна 101 и 103°C соответственно;

– температура охлаждающей жидкости двигателя при максимальной загрузке и температуре внешней среды 35°C существенно ниже предельно допустимой - 107°C;

– температура масла в картере двигателя не высокая – 106...107°C;

– при примерно постоянной эксплуатационной нагрузке (близкой к номинальной мощности) и температуре внешней среды 29°C температурный режим двигателя, при движении трактора по гону, разновелик в различных зонах гона.

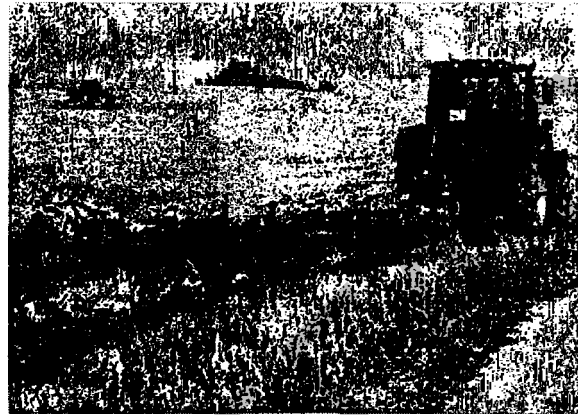


Рисунок 6. Трактор «Беларус-3022ДВ» с модернизированной системой охлаждения в агрегате с плугом «Kverneland BV 100» при эксплуатационном режиме нагружения

Согласование параметров дизеля и системы охлаждения

Проектирование СО на первоначальном этапе предполагает предварительный расчет СО и согласование ее параметров с параметрами и показателями выбранного дизеля. Этот этап проектирования включает шаги, представленные на блок-схеме (рисунок 7) алгоритма выбора и согласования дизеля.

Цель согласования состоит в том, чтобы параметры и показатели принимаемого дизеля позволили обеспечить баланс передаваемой теплоты от дизеля в окружающую среду и спроектировать эффективную СО для вновь проектируемого трактора.

Предложенная последовательность выбора и согласования дизеля проектируемого трактора позволяет на этом этапе выполнить работы, обеспечивающие разработку эффективной СО. Создание баз данных СО, определение удельных показателей, коэффициентов входящих в базу систем и на этой основе создание методики расчета СО и радиаторов по удельным показателям и коэффициентам позволит проводить согласование дизеля, расчеты, анализ и оценку проектируемых СО любому конструктору.

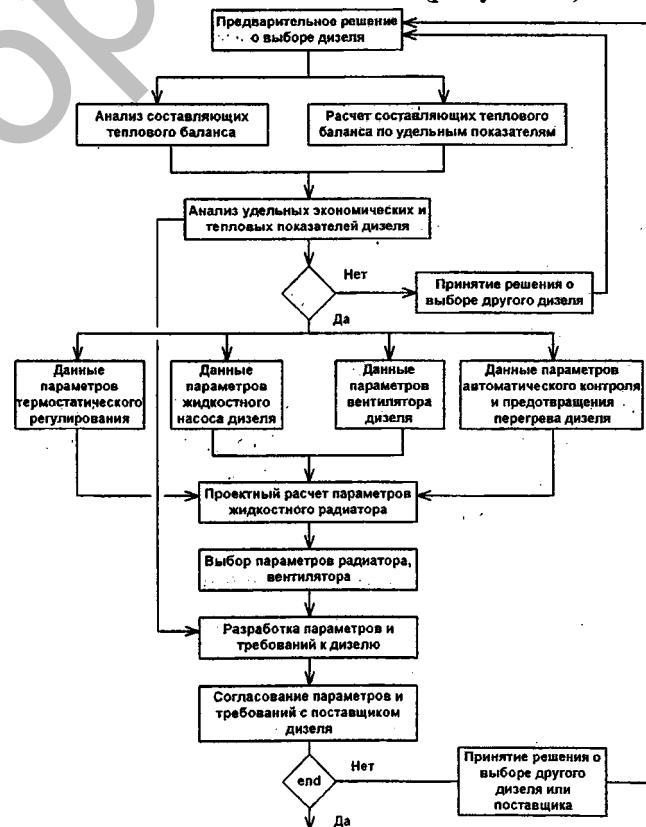


Рисунок 7. Алгоритм выбора и согласования дизеля при проектировании системы охлаждения

Заключение

По результатам проведенных исследований сформулируем основные *приоритетные положения, которые следует учитывать при проектировании СО:*

- конструкции моторного отделения и капота должны обеспечивать циркуляцию потоков воздуха вдоль поверхностей блок-картера дизеля, создавать минимальное аэродинамическое сопротивление, обеспечивать свободный выход воздуха из-под капота;
- установка вентилятора относительно жидкостного радиатора в поперечной и продольной плоскостях должна обеспечивать наибольшую ометаемость поверхностей радиатора и наибольший расход воздуха;
- установка радиатора относительно капота должна полностью исключать перетекание нагретого воздуха из моторного отсека в предрадиаторную зону воздушного тракта;
- тепловыделяющие и другие узлы в предрадиаторной зоне должны быть установлены таким образом, чтобы поток воздуха, поступающий к сердцевине жидкостного радиатора, был сплошным и равномерно распределялся по фронту радиатора;
- передние сетки элементов маски капота должны иметь минимальное аэродинамическое сопротивление и обеспечивать максимальное задерживание пыли, растительных остатков.

Существует ряд дополнительных параметров, определяющих технический уровень системы охлаждения (потребляемая мощность системой охлаждения, ее надежность и долговечность, пониженный шум, рациональность исполнения и компоновки элементов системы и др.), улучшение которых необходимо выполнить в перспективе посредством проведения дополнительных исследований.

Литература

1. Разработать и освоить производство базовой модели колесного трактора общего назначения тягового класса 6 мощностью 360-380 л.с. для выполнения энергоемких работ в сельском хозяйстве, промышленности, строительстве и других отраслях: отчет об опытно-конструкторской работе / НАН Беларуси, ГНУ «ОИМ НАН Беларуси»; рук. П.А. Амельченко. – Минск, 2008. – 75 с.
2. Тарасенко, В.Е. Экспериментальное исследование жидкостной системы охлаждения дизеля International DTA 530E (1-308) / DDC S 40E трактора «Беларус-3022ДВ» / В.Е. Тарасенко, А.И. Якубович // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы науч.-технич. конф. молодых ученых, Могилёв, 20–21 ноября 2008 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Бел.-Рос. ун-т; редкол. И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилёв: Бел.-Рос. ун-т, 2008. – С. 100.
3. Якубович, А.И. Влияние конструкции капота на показатели моторной установки / А.И. Якубович, В.Е. Тарасенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник / РУП «НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2008. – вып. 42, С.19 – 29.
4. Якубович, А.И. Аэродинамика потока воздуха в воздушном тракте трактора / А.И. Якубович, В.Е. Тарасенко // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого. – 2007. – № 1 (28). – С. 38–42.
5. Якубович, А.И. Энергозатраты на привод вентиляторов тракторов «Беларус» / А.И. Якубович, В.Е. Тарасенко // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого. – 2007. – № 1 (28). – С. 85–92.