

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВОДОИСПАРИТЕЛЬНЫХ ОХЛАДИТЕЛЕЙ ВОЗДУХА В КАБИНАХ ТРАКТОРОВ

д.т.н. Михайлов В.А., к.т.н. Шарипова Н.Н., к.т.н. Дмитриев М.И.,
Московский политехнический университет, Москва, Россия
avt@mami.ru

Для мобильных объектов в настоящее время зарубежные фирмы поставляют в нашу страну широкую номенклатуру устройств кондиционирования воздуха, базирующихся на хладоновой (фреоновой) холодильной машине. Они предназначены для применения в принципиально отличных от наших климатических условиях, характеризующихся относительно коротким теплым периодом года, что должно учитываться при выборе режимов работы и состава функциональных частей устройств кондиционирования воздуха. Предложены два варианта конструкции двухступенчатых водоиспарительных воздухоохладителей, выполненных по отдельной схеме, где в качестве первого (основного) агрегата, предназначенного для кондиционирования воздуха, применен блок, содержащий последовательно размещенные водо-воздушный теплообменник и орошаемую водой насадку, а в качестве второго (вспомогательного) агрегата, предназначенного для приготовления холодной воды, подаваемой в указанный водо-воздушный теплообменник первого блока, применена градирня, содержащая в одном варианте только орошаемую насадку, а во втором варианте – агрегат, аналогичный самому блоку кондиционирования воздуха. Сравнение по достигнутым показателям установок ИКПВ и ИРКВ с опытными КПО и РКВ (Т02), а также с хладоновым кондиционером свидетельствует о следующем: они по холодопроизводительности практически не уступают опытному, имея существенно меньшую массу при приемлемых габаритных размерах крышного блока и обладают возможностью дополнительной «мокрой» очистки его от мелкодисперсной пыли и газообразных примесей; базирование конструкции предложенных охладителей на отработанных в средствах нормализации микроклимата агрегатах дает возможность создавать при необходимости модификации ИКПВ и ИРКВ различной производительности; в климатических условиях России, не требующих осушения кондиционируемого воздуха, инновационные охладители сопоставимы по условию обеспечения в кабинах тракторов нормируемых параметров микроклимата с хладоновыми устройствами кондиционирования воздуха, существенно превосходя их по показателю энергосбережения. Их внедрение в районах с сухим жарким климатом может составить альтернативу хладоновым кондиционерам, которые они существенно превосходят по показателям энергосбережения.

Ключевые слова: кабина трактора, система нормализации микроклимата, охладитель воздуха, эффективность, увлажнение, температура, энергозатраты.

Введение

В настоящее время возрастают требования к энергетической эффективности применяемых на объектах различного назначения установок кондиционирования воздуха (УКВ). С этой позиции современными могут быть признаны только такие УКВ, которые при выполнении ими норматива по температурно-влажностным параметрам воздуха на рабочем месте обладают меньшими энергозатратами [1]. В связи с этим для производственных помещений стационарных объектов предписываются [2], что наиболее энергоемкие УКВ с хладоновыми машинами следует использовать только в случаях, когда нормируемые параметры микроклимата не могут быть обеспечены

устройствами прямого или косвенного водоиспарительного охлаждения. При этом выбор источника холода должен быть экономически обоснован.

Для стационарных и мобильных объектов сейчас зарубежные фирмы поставляют в нашу страну широкую номенклатуру УКВ, базирующихся на хладоновой (фреоновой) холодильной машине. Вместе с тем отмечается [3], что эти УКВ предназначены для применения в принципиально отличных от наших климатических условиях, характеризующихся относительно коротким теплым периодом года, что должно учитываться при выборе режимов работы и состава функциональных частей УКВ. Поэтому отечественная фирма «Веза» [3] создала типо-

размерный ряд установок, названных КЦКП (кондиционеры центральные каркасно-панельные) для очистки, вентиляции, отопления и охлаждения воздуха с помощью как холодильных машин, так и с использованием прямого и косвенного водоиспарительного охлаждения. Вся система КЦКП основана на блочно-модульном построении ее модификаций и предусматривает расход обрабатываемого воздуха от 1,6 до 100 тыс. м³/ч. Однако, данная разработка не могла быть заимствована для кабин тракторов по объективным причинам, и для них была создана соответствующая система нормализации микроклимата (СНМ) в виде унифицированного типажа установок различного назначения для кабин объемом от 1,5 до 3,4 м³, также базирующаяся на блочно-модульном принципе построения конструкции модификаций с расходом обрабатываемого воздуха от 0,3 до 1,1 тыс. м³/ч. Здесь для теплого периода года предусмотрены модификации с хладоновой холодильной машиной и с использованием прямого водоиспарительного охлаждения [4, 5].

Цель исследования

Целью исследования является разработка более совершенных конструкций водоиспарительных охладителей воздуха в кабинах тракторов.

Материалы, методы исследования и обсуждение результатов

При прямом контакте воздуха с водой в процессе снижения его температуры от начальной t по сухому термометру является его начальная температура по мокрому термометру t_m , а достигнутая при этом температура t_o оценивается с помощью коэффициента эффективности адиабатного увлажнения E_a [3–6]:

$$E_a = (t - t_o) / (t - t_m).$$

Поскольку в этом процессе воздух при снижении его температуры увлажняется при постоянной энтальпии, существует ограничение величины E_a до значения 0,73 [4, 5] для исключения превышения нормируемого предела относительной влажности в 60% воздуха в кабине. Тогда величину t_o можно определить из выражения:

$$t_o = t - 0,73 \cdot (t - t_m). \quad (1)$$

УКВ водоиспарительного охлаждения являются менее энергоемкими по сравнению с хла-

доновыми кондиционерами [1]. При этом их положительным качеством является способность обеспечить в кабине так называемый современный динамический микроклимат [7], существо которого заключается в поддержании в автоматическом, природообусловленном самим процессом водоиспарительного охлаждения, рациональном перепаде между изменяющейся в течение рабочей смены наружной температурой t и температурой воздуха t_k на рабочем месте [8].

Вместе с тем, необходимо и меть в виду следующее. Полная производительность по отведенной из кондиционируемого воздуха явной теплоте Q_o (холодопроизводительность) в общем случае оценивают по формуле:

$$Q_o = c_p \rho_o L_o (t - t_o), \quad (2)$$

где c_p – теплоемкость воздуха, Дж/(кг · °С); ρ_o – плотность воздуха при температуре t_o , кг/м³; L_o – подача воздуха в кабину, м³/с.

Величина Q_o равняется сумме из теплопритоков Q_{ac} в кабину (т.е. ее тепловой нагрузке) и тепловых потерь $Q_{выбр}$, обусловленных поступлением через неплотности кабины наружу воздуха с температурой t_k , которая ниже t . Подача же воздуха из УКВ в кабину определяется из условия обеспечения в ней требуемой температуры t_k [4, 5]:

$$L_o = Q_{ac} / [c_p \rho_o (t_k - t_o)]. \quad (3)$$

У водоиспарительных охладителей энергозатраты на обеспечение необходимой холодопроизводительности определяются в основном мощностью вентилятора, обеспечивающего требуемую величину L_o , поскольку затраты здесь на привод водяного насоса относительно невелики [1]. Тогда из формулы (3) вытекает, что при постоянных Q_{ac} и t_k с целью снижения L_o необходимо уменьшить величину t_o . Однако ранее было показано, что при прямом водоиспарительном охлаждении t_o не может быть снижено путем увеличения E_a . Следовательно, у такой УКВ резервы по снижению энергозатрат, по существу, отсутствуют, и здесь необходимо использовать другие способы водоиспарительного охлаждения воздуха. К ним, в первую очередь, относится косвенно-прямое, обоснованное О.Я. Кокориным и получившее развитие в стационарных объектах [9]. Затем УКВ такого типа, как и регенеративные установки косвенно-испарительного действия,

были идентифицированы как перспективные для кабин тракторов [10].

В косвенно-прямом воздухоохладителе (КПВ) имеются две ступени обработки воздуха. В первой воздух охлаждается сухой поверхностью, которая с противоположной стороны контактирует с водой, охлаждаемой за счет испарения. Здесь охлаждение потока кондиционируемого воздуха происходит при постоянном влагосодержании, в результате чего снижается его температура как по сухому t_1 , так и по мокрому термометру от t_m до t_{m1} , т.е. понижается предел его испарительного охлаждения. Далее этот поток воздуха поступает во вторую ступень адиабатного увлажнения, где дополнительно снижает свою температуру, стремясь к t_{m1} , что в итоге принципиально может обеспечить температуру кондиционируемого воздуха ниже t_m .

Это направление может быть реализовано двумя путями. Первый путь – это применение совмещенного теплообменника косвенного испарительного охлаждения, в котором имеются два потока воздуха: основной кондиционируемый, охлаждаемый через разделительную водонепроницаемую стенку без изменения влагосодержания, и второй вспомогательный, где на стенке теплообменника осуществляется испарение воды, обуславливающее снижение температуры обоих потоков, причем вспомогательный, увлажняясь, повышает и свою энтальпию, поскольку через стенку теплообменника отбирает теплоту от основного потока [11]. Второй путь, как и в разработке фирмы «Вега», предусматривает применение раздельной схемы, где в качестве первой ступени блока обработки кондиционируемого воздуха используется водо-воздушный теплообменник, куда подается охлажденная за счет испарения в отдельном агрегате-градирне вода, контактирующая с вспомогательным потоком воздуха этой градирни.

В регенеративно-косвенном воздухоохладителе (РКВ) весь поток воздуха за счет утилизации тепловой энергии вспомогательного потока обуславливает снижение температуры основного кондиционируемого потока в пределе до точки росы t_p наружного воздуха при постоянном влагосодержании. Этот процесс осуществляется в специальном теплообменнике, выполненном по совмещенной схеме, конструкция которого приведена в работе [8] и

здесь не рассматривается. Приоритет в разработке теоретических основ и реализации конструкции такого совмещенного РКВ с увлажняемыми пластинами из пористой пластмассы принадлежит А.Б. Цицерману [12]. Затем это направление нашло отражение при реализации в конструкции пористых металлических пластин [13], в результате чего была создана установка, получившая шифр Т02.

При сравнении созданных опытных образцов указанных КПВ, РКВ и Т02 с позиции их реализации на кабинах тракторов должны ограничиваться их массогабаритные характеристики с учетом возможности размещения на крыше и с точки зрения сохранения нормируемой поперечной устойчивости машины от опрокидывания, поскольку при таком размещении блока УКВ центр масс ее поднимается. С этих позиций по данным [4, 5] размер блока по ширине не должен быть более 900 мм для одноместной кабины и не более 1000 мм для двухместной; по ее длине не более, соответственно, 450 и 600 мм; высота блока не более 300 мм, а масса блока не более 25 кг для тракторов класса 0,6 и 0,9 кН и не более 50 кг для тракторов класса 1,4.

В табл. 1 приведены сравнительные данные опытных УКВ.

Во всех указанных опытных УКВ увлажнение поверхности испарения в теплообменниках происходит за счет фитильного всасывания воды пористым материалом, нижние концы которого погружены в поддон. Этим и объясняется, что в них осуществить «мокрую» очистку воздуха невозможно [4, 5].

По результатам исследования [10] установлено, что при $t_m = 20,4$ °С, $t = 38,2$ °С и $t_p = 11,0$ °С модель КПВ обеспечивает температуру охлажденного воздуха после второй ступени $t_o = 17,4$ °С при незначительном увеличении его влагосодержания по сравнению с начальным. Температура охлажденного воздуха в установках РКВ и Т02 определяются из выражения:

$$t_o = t - E_p (t - t_m). \quad (4)$$

В указанных установках достигнута величина $E_p = 0,64 \dots 0,74$ в зависимости от t [12, 13]. Тогда, приняв $E_p = 0,74$ при заданных выше исходных условиях, получим $t_o = 18,1$ °С. Отсюда можно заключить, что КПВ, РКВ и Т02 способны обеспечить температуру охлаж-

Характеристики опытных усовершенствованных водоиспарительных УКВ

Модель УКВ	Подача воздуха в основном потоке, L_0 , м ³ /ч	Общий расход воздуха, L , м ³ /ч	Холодо-производительность, кВт	Ширина воздушных каналов, мм	Возможность «мокрой» очистки воздуха	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
КПВ	350	620	2,47	1,4...1,5	нет	895Ч792Ч230	45
РКВ	400	800	2,72	1,8...2,5	нет	850Ч650Ч200	60
Т02	350	700	2,38	1,0	нет	700Ч400Ч220	-

денного воздуха ниже его начальной температуры по мокрому термометру, и здесь открывается возможность снижения L_0 и уменьшения энергозатрат на выработку холода. Однако, эти прогрессивные (по направлению развития) опытные УКВ относительно громоздки, имеют значительную массу, не способны очистить воздух от мелкодисперсной пыли и газообразных примесей, а их выполнение в виде эксклюзивного крышного моноблока не отвечает современным методам проектирования техники.

Вместе с тем, создание СНМ [4, 5, 14–16] открывает возможность в решении задачи по созданию инновационных водоиспарительных охладителей воздуха, реализующих рассмотренные выше методы его обработки. Этому способствует то, что построение различных модификаций СНМ основано на принципе присоединения друг к другу в необходимом сочетании имеющихся здесь конструктивно отработанных унифицированных модулей (контактный воздушный фильтр, вентиляторный агрегат, несущая камера выравнивания давления, водо-воздушный теплообменник, хладоновый теплообменник-испаритель, орошаемая потоком воды насадка, обладающая способностью очищать воздух от мелкодисперсной пыли и газообразных примесей). Возможность создания иных, не предусмотренных ранее в СНМ модификаций УКВ, была продемонстрирована в работах [4, 5, 14–16] на примере разработки инновационной конструкции хладонового кондиционера. Далее показано, как можно расширить номенклатуру модификаций СНМ в части создания на ее основе установок типа КПВ и РКВ (Т02).

Как отмечалось ранее, метод косвенно-прямого водоиспарительного охлаждения может быть реализован в установке, выполненной по

раздельной схеме. В нашем случае в инновационном косвенно-прямом воздухоохладителе (ИКПВ) следует применять два агрегата. В качестве первого (основного) агрегата можно использовать имеющийся в СНМ блок, содержащий последовательно установленные водо-воздушный теплообменник и орошаемую насадку. При этом в указанный теплообменник подается вода, предварительно охлажденная во втором (вспомогательном) агрегате-градирне, в качестве которой можно использовать имеющийся в СНМ блок, содержащий только орошаемую насадку (рис. 1).

Устройство функционирует следующим образом. Наружный воздух через фильтры 6 и 8 с помощью вентиляторных агрегатов 1 и 11 подается на обработку в соответствующие блоки. С помощью водяного насоса 14 осуществляется циркуляция воды из бака 13 через орошаемые насадки 3, 9 и водо-воздушный теплообменник 5. При этом в блоке кондиционирования с помощью регулятора 4 поток воды разделяется на две части, причем меньшая по расходу поступает в насадку 3, а большая – в теплообменник 5. Здесь наружный воздух, проходя через этот теплообменник, снижает свою температуру без изменения влагосодержания, отдавая теплоту циркулирующей через него воде, которая затем в отепленном состоянии направляется по трубопроводу 7 в орошаемую насадку 9 градирни. Проходя через эту насадку наружный воздух осуществляет в ней испарительное охлаждение воды до его начальной температуры по мокрому термометру t_m . Сам же воздух после насадки имеет температуру выше t_m , а за счет восприятия энергии отепленной воды в процессе обработки в насадке увеличивает свою энтальпию [9]. В основном блоке в теплообменнике 5 воздух снижает свою темпе-

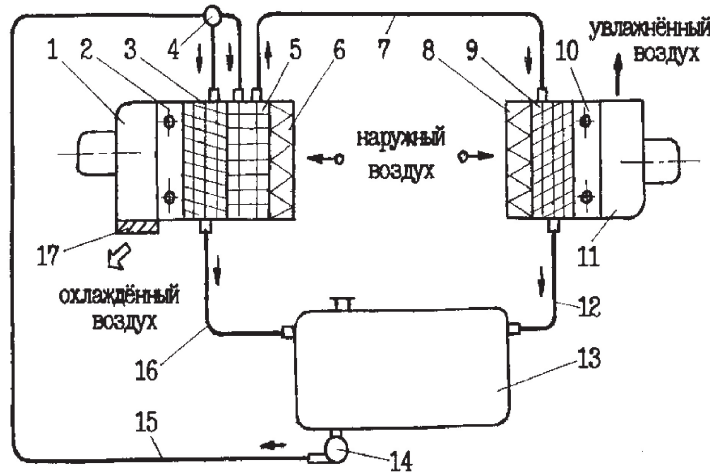


Рис. 1. Принципиальная схема ИКПВ:

1 и 11 – вентиляторный агрегат; 2 и 10 – несущая камера выравнивания давления; 3 и 9 – орошаемая насадка; 4 – регулятор-разделитель потока воды; 5 – водо-воздушный теплообменник; 6 и 8 – контактный воздушный фильтр; 7 – соединительный трубопровод; 12 – сливной трубопровод блока градирни; 13 – водяной бак; 14 – водяной насос; 15 – нагнетательный трубопровод; 16 – сливной трубопровод блока кондиционирования воздуха; 17 – воздухораспределитель

ратуру как по сухому термометру t_1 , так и по мокрому термометру t_m , которая меньше t_m , а после него воздух попадает в насадку 3, где при адиабатном увлажнении в этой второй ступени снижает свою температуру t_2 до состояния, указанного на диаграмме $I - d$ (точки 1 и 2 на рис. 2).

Оценим функциональные возможности этого ИКПВ на примере кабины пахотного трактора объемом $3,4 \text{ м}^3$, эксплуатирующегося в Южном регионе России при наружной температуре $t = 37,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ($t_m = 20,8 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_p = 12,3 \text{ }^\circ\text{C}$) при ее тепловой нагрузке в этих условиях $Q_{ac} = 1460 \text{ Вт}$ [14].

Достигнутая глубина снижения температуры воздуха t_1 в водо-воздушном теплообменнике может быть оценена коэффициентом эффективности $E_a = 0,73$ и при указанных здесь t и t_m для точки 1 на рис. 2 находим:

$$t_1 = t - 0,73(t - t_m) = 25,3 \text{ }^\circ\text{C}.$$

По диаграмме (рис. 2) найдем, что у воздуха в точке 1 температура по мокрому термометру $t_{m1} = 17,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Тогда при $E_a = 0,73$ находим:

$$t_2 = t_1 - 0,73(t_1 - t_{m1}) = 19,3 \text{ }^\circ\text{C}.$$

В соответствии с ГОСТ Р 50993 перепад между наружной температурой и температурой t_k на рабочем месте оператора машины

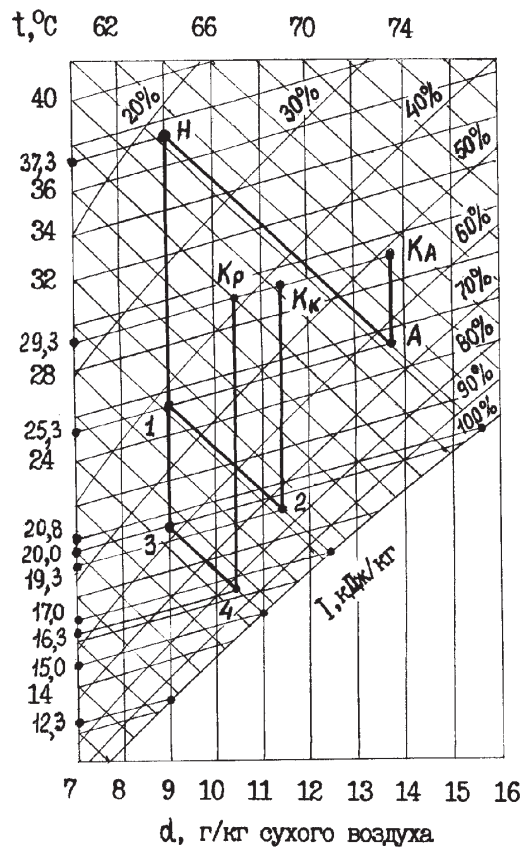


Рис. 2. Процессы изменения состояния воздуха при тепловлажностной обработке:

- Н-1, Н-3 – снижение температуры воздуха при постоянном влагосодержании;
- Н-А, 1-2, 3-4 – снижение температуры воздуха при постоянной энтальпии;
- А-КА, 2-КК, 4-КР – повышение температуры воздуха за счет ассимиляции теплопритоков в кабину

не должен быть более $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ для исключения его простудного заболевания при относительной влажности воздуха здесь $\varphi_k = 30\text{...}60\%$. Следовательно, в нашем случае можно принять расчетную $t_k = 29,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тогда, располагая данными по Q_{ac} , t_k , $t_o = t_2$ и имея в виду, что $c_p = 1005\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$ и $\rho_o = 1,209\text{ кг}/\text{м}^3$ (при $t_2 = 19,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) находим по формуле (3) величину $L_o = 0,123\text{ м}^3/\text{с}$ ($440\text{ м}^3/\text{ч}$). Такая подача воздуха может быть реализована при использовании в нашем случае блока СНМ-2-4 в версии с двумя вентиляторами при номинальной производительности не менее $420\text{ м}^3/\text{ч}$ [4, 5], который имеет габаритные размеры $590\text{C}385\text{C}180$ мм и массу $11,4\text{ кг}$. Что же касается необходимой производительности по воздуху градирни, то в нашем случае по данным [8] она может быть меньше производительности основного блока в $1,3$ раза, т.е. $340\text{ м}^3/\text{ч}$. Тогда можно использовать в качестве градирни блок СНМ-3-4 в версии с двумя вентиляторами (подача воздуха $360\text{ м}^3/\text{ч}$, габаритные размеры $395\text{C}385\text{C}180$ мм, масса $7,6\text{ кг}$). Таким образом, суммарный расход воздуха в ИКПВ составит не более $L = 780\text{ м}^3/\text{ч}$, а суммарная масса 19 кг при энергозатратах $N_o = 0,42\text{ кВт}$ [4, 5, 15].

Относительно же возможности, реализации РКВ на базе модификаций СНМ следует отметить, что существует способ охлаждения воды

до температуры точки росы наружного воздуха за счет утилизации в градирне тепловой энергии выбросного потока воздуха при его контакте через стенки теплообменника с циркулирующей здесь водой (авт. свид. СССР № 93829, 1951 г.), реализованный как у нас в стране, так и за рубежом в различных установках для ее приготовления. В нашем случае этот способ может быть использован для приготовления воды с низкой температурой, которая затем должна быть направлена в качестве холодильного агента в водо-воздушный теплообменник блока для кондиционирования воздуха, как это показано на рис. 3.

Устройство функционирует следующим образом. Наружный воздух через фильтр 7 с помощью вентиляторного агрегата 12 подается на обработку в водо-воздушный теплообменник 8, куда насосом 16 из бака 14 закачивается вода, которая затем по соединительному трубопроводу 9 поступает в орошаемую насадку 10, а из нее по сливному трубопроводу 13 возвращается обратно в бак 14. При такой циркуляции воды происходит определенная ее обработка в соответствии с указанным выше способом по авт. свид. №93829. Вода в насадке 10 охлаждается сначала в пределе до начальной температуры-воздуха по мокрому термометру t_m . Затем несколько охлажденная вода поступает в теплообменник 8, проходя через который, наружный воздух снижает свою

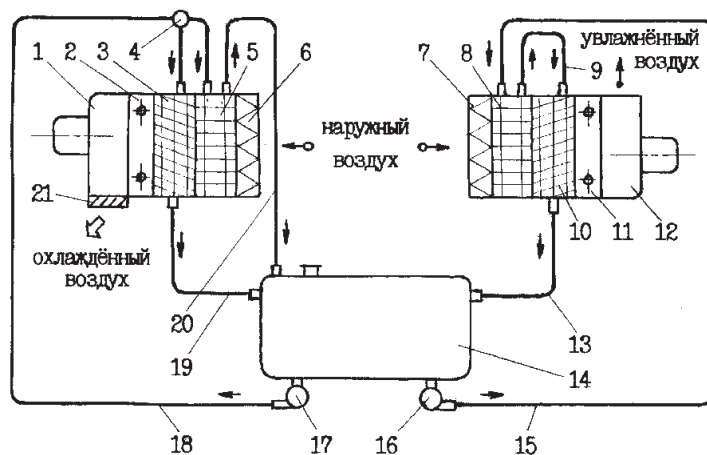


Рис. 3. Принципиальная схема ИРКВ:

- 1 и 12 – вентиляторный агрегат; 2 и 11 – несущая камера выравнивания давления; 3 и 10 – орошаемая насадка; 4 – регулятор-разделитель потока воды; 5 и 8 – водо-воздушный теплообменник;
- 6 и 7 – контактный воздушный фильтр; 9 – соединительный трубопровод; 13 – сливной трубопровод блока градирни; 14 – водяной бак; 15 – нагнетательный трубопровод градирни; 16 и 17 – водяной насос;
- 18 – нагнетательный трубопровод основного блока; 19 – сливной трубопровод насадки основного блока; 20 – сливной трубопровод теплообменника основного блока; 21 – воздухохораспределитель

температуру как по сухому, так и по мокрому термометру. Таким образом, в процессе циркуляции воды ее предел испарительного охлаждения постепенно снижается от t_m до t_p .

Холодная вода из бака 14 насосом 17 подается по трубопроводу 18 к регулятору 4, разделяющему ее на два потока. Меньшая по расходу ее часть поступает в насадку 3, а большая – в теплообменник 5, откуда отработавшая вода по соответствующим трубопроводам 19 и 29 возвращается обратно в бак 14. Эта отепленная вода смешивается с имеющейся в баке холодной водой, повышая ее температуру. В таком состоянии эта вода, как указывалось ранее, насосом 16 подается в градирню на охлаждение. Из-за внесения отобранной у обрабатываемого воздуха теплоты в блоке кондиционирования вода в баке, естественно, не достигнет t_p при функционировании обоих блоков. Также и температура воздуха на выходе из теплообменника 5 (с учетом его КПД) будет выше t_p . В целом степень снижения температуры кондиционируемого воздуха в этом теплообменнике (как и в традиционном РКВ) может быть оценена с помощью коэффициента эффективности E_p по формуле (4). В нашем случае его величина может быть принята равной $E_p = 0,69$. Тогда для определения значения температуры охлажденного здесь воздуха имеем (точка 3 на рис. 2):

$$t_3 = t - 0,69(t - t_p) = 20,0 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

В отличие от традиционного РКВ в предлагаемом ИРКВ в блоке кондиционирования воздуха после теплообменника 5 размещена орошаемая насадка 3, на которую, помимо до-

полнительного снижения температуры, возлагается еще функция его очистки от мелкодисперсной пыли и газообразных примесей.

Величина дополнительного снижения температуры воздуха в насадке 3 обусловлена, как и у КПВ тем, что при охлаждении в теплообменнике 5 при постоянном влагосодержании до температуры t_3 его температура по мокрому термометру уменьшается до $t_{m3} = 15,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ (рис. 2). Используя данные по величинам t_3 и t_{m3} , по формуле (1) определим $t_4 = 16,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ (точка 4 на рис. 2).

Располагая данными по Q_{ac} , t_k , $t_4 = t_o$ и имея в виду, что при $t_4 = 16,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ плотность воздуха составляет $\rho_o = 1,222 \text{ кг/м}^3$, с использованием формулы (3) нашли величину $L_o = 0,092 \text{ м}^3/\text{с}$ ($330 \text{ м}^3/\text{ч}$). Такая подача воздуха может быть обеспечена при использовании блока СНМ-3-4 в версии с двумя вентиляторами при номинальной производительности $360 \text{ м}^3/\text{ч}$ (габаритные размеры 395Ч385Ч180, масса 7,6 кг). Производительность же по воздуху градирни принимается из условия 1:1 по отношению к производительности основного блока, т.е. эти блоки могут быть одинаковыми. Таким образом, максимальный суммарный расход воздуха в ИРКВ составит $L = 720 \text{ м}^3/\text{ч}$, а суммарная масса 15,2 кг при энергозатратах 0,44 кВт [4, 5]. Для сравнения отметим, что по данным [13] в указанных выше исследуемых условиях энергозатраты традиционного хладонового кондиционера при обеспечении в кабине $t_k = 29,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ составили $N_o = 3,03 \text{ кВт}$ при подаче воздуха в кабину $L_o = 430 \text{ м}^3/\text{ч}$. Результаты проведенных выше расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Функциональные характеристики УКВ кабин

Тип УКВ	Подача воздуха в кабину L_o , $\text{м}^3/\text{ч}$	Холодопроизводительность Q_o , кВт	Энергозатраты, N_o , кВт	Холодильный коэффициент $\eta_o = Q_o/N_o$	Расчетные параметры воздуха в кабине		Нормируемая относительная влажность, ϕ , %
					Температура, t_k , $^\circ\text{C}$	Относительная влажность ϕ_k , %	
Хладоновая	430	2,72	3,03	0,90	29,3	34	30...60
ИКПВ	420	2,56	0,42	6,10	29,3	42	30...60
ИРКВ	360	2,58	0,44	5,86	29,3	39	30...60

Выводы

При сравнении показателей установок ИКПВ и ИРКВ с опытными КПО и РКВ (Т02), а также с хладоновым кондиционером установлено:

- предложенные усовершенствованные установки по холодопроизводительности практически не уступают опытным, имея существенно меньшую массу при приемлемых габаритных размерах крышного блока и обладают возможностью дополнительной «мокрой» очистки его от мелкодисперсной пыли и газообразных примесей;
- базирование конструкции предложенных охладителей на отработанных в СНМ агрегатах дает возможность создавать при необходимости модификации ИКПВ и ИРКВ различной производительности;
- в климатических условиях России, не требующих осушения кондиционируемого воздуха, предложенные охладители сопоставимы по условию обеспечения в кабинах тракторов нормируемых параметров микроклимата с хладоновыми УКВ и существенно превосходят их по показателю энергосбережения.

Литература

1. Кокорин О.Я. Энергосберегающие технологии функционирования систем вентиляции, отопления, кондиционирования воздуха (систем ВОК). М.: Проспект, 1999. 208 с.
2. Строительные нормы и правила. Отопление, вентиляция и кондиционирование. СНиП 2.04.05-91. М.: Минстрой России, 1997. 64 с.
3. Кокорин О.Я., Дерипасов А.М. Отечественное оборудование для создания систем вентиляции и кондиционирования воздуха: Каталог. М.: НКФ «Каталог», 2002. 92 с.
4. Михайлов В.А. Создание системы модульных типизированных и унифицированных средств нормализации микроклимата и оздоровления воздушной среды в кабинах самоходных машин: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1998. 492 с.
5. Шарипов В.М., Михайлов В.А., Шарипова Н.Н. Климатическая комфортабельность колесных и гусеничных машин. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 197 с.
6. Михайлов В.А., Шарипова Н.Н. Оценка функциональных качеств локального воздухоохладителя в кабине трактора // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 10. С. 20–23.
7. Ловцов В.В., Хомуцкий Ю.Н. Системы кондиционирования динамического микроклимата помещений. Л.: Стройиздат, 1991. 149 с.
8. Михайлов В.А. Особенности работы испарительных воздухоохладителей кабин тракторов // Тракторы и сельхозмашины. 1984. № 3. С. 15–17.
9. Кокорин О.Я. Испарительное охлаждение для целей кондиционирования воздуха в строительстве: дис. ... д-ра техн. наук. М.: МИСИ, 1965. 158 с.
10. Михайлов В.А. Перспективы развития испарительного охлаждения кабин универсально-пропашных тракторов // Тракторы и сельхозмашины. 1985. № 5. С. 29–32.
11. Михайлов В.А. Усовершенствованный воздухоохладитель испарительного типа для кабин тракторов малой и средней мощности // Тракторы и сельхозмашины. 1977. № 11. С. 9–11.
12. Цимерман А.Б. Теория и практическая реализация метода регенеративного косвенно-испарительного охлаждения воздуха: дис. ... канд. техн. наук. Одесса, 1985. 224 с.
13. Галкин Е.А. Применение водоиспарительных охладителей для улучшения температурно-влажностных параметров в кабинах мобильных сельскохозяйственных машин: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 1995. 220 с.
14. Михайлов В.А., Шарипова Н.Н. Инновация в конструкции хладонового кондиционера воздуха в тракторной кабине // Тракторы и сельхозмашины. 2009. № 4. С. 34–39.
15. Михайлов В.А., Шарипова Н.Н. Средства нормализации микроклимата и оздоровления воздушной среды в кабинах тракторов. Учебное пособие для студентов специальности 150100 «Автомобиле- и тракторостроение» / Под общ. ред. В.М. Шарипова. М.: МГТУ «МАМИ», 2002. 90 с.
16. Шарипов В.М., Апельинский Д.В., Арустамов Л.Х. и др. Тракторы. Конструкция / Под общ. ред. В.М. Шарипова. М.: Машиностроение, 2012. 790 с.

References

1. Kokorin O.Ya. *Energoberegayushchie tekhnologii funktsionirovaniya sistem ventilyatsii, otopleniya, konditsionirovaniya*

- vozdukha (sistem VOK)* [Energy-saving technologies for operation of ventilation, heating, air-conditioning systems (VOK systems)]. Moscow: Prospekt Publ., 1999. 208 p.
2. *Stroitel'nye normy i pravila. Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie* [Building regulations. Heating, ventilation and air conditioning]. SN i P 2.04.05-91. Moscow: Minstroy Rossii Publ., 1997. 64 p.
 3. Kokorin O.Ya., Deripasov A.M.. *Otechestvennoe oborudovanie dlya sozdaniya sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha: Katalog* [Domestic equipment for creation of ventilation and air conditioning: Catalog]. Moscow: NKF «Katalog» Publ., 2002. 92 p.
 4. Mikhaylov V.A. *Sozdanie sistemy modul'nykh tipizirovannykh i unifikirovannykh sredstv normalizatsii mikroklimate i ozdorovleniya vozdushnoy sredy v kabinakh samokhodnykh mashin*: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Creation of a system of modular typed and unified means for normalizing the microclimate and improving of air environment in cabins of self-propelled vehicles: dissertation for Degree of Doctor of Technical Sciences]. Moscow, 1998. 492 p.
 5. Sharipov V.M., Mikhaylov V.A., Sharipova N.N. *Klimaticheskaya komfortabel'nost' kolesnykh i gusenichnykh mashin* [Climatic comfort of wheeled and caterpillar vehicles]. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 197 p.
 6. Mikhaylov V.A., Sharipova N.N. Evaluation of functional qualities of local air cooler in tractor cab. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2012. No 10, pp. 20–23 (in Russ.).
 7. Lovtsov V.V., Khomutetskiy Yu.N. *Sistemy konditsionirovaniya dinamicheskogo mikroklimate pomeshcheniy* [Systems of conditioning of dynamic microclimate of premises]. Leningrad: Stroyizdat Publ., 1991. 149 p.
 8. Mikhaylov V.A. Features of operation of evaporative air coolers of tractor cabins. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 1984. No 3, pp. 15–17 (in Russ.).
 9. Kokorin O.Ya. *Isparitel'noe okhlazhdenie dlya tseley konditsionirovaniya vozdukha v stroitel'stve*: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Evaporative cooling for air conditioning purposes in construction: dissertation for Degree of Doctor of Technical Sciences]. Moscow: MISI Publ., 1965. 158 p.
 10. Mikhaylov V.A. Prospects for development of evaporative cooling of cabins of universal tractors. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 1985. No 5, pp. 29–32 (in Russ.).
 11. Mikhaylov V.A. Advanced evaporative-type air cooler for small and medium power tractor cabins. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 1977. No 11, pp. 9–11 (in Russ.).
 12. Tsimerman A.B. *Teoriya i prakticheskaya realizatsiya metoda regenerativnogo kosvennoisparitel'nogo okhlazhdeniya vozdukha*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Theory and practical implementation of method of regenerative indirect evaporative cooling of air: dissertation for Degree of Candidate of Technical Sciences]. Odessa, 1985. 224 p.
 13. Galkin E.A. *Primenenie vodoisparitel'nykh okhladiteley dlya uluchsheniya temperaturnovlazhnostnykh parametrov v kabinakh mobil'nykh sel'skokhozyaystvennykh mashin*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Usage of water evaporative coolers to improve temperature and humidity parameters in cabins of mobile agricultural machines: dissertation for Degree of Candidate of Technical Sciences]. Voronezh, 1995. 220 p.
 14. Mikhaylov V.A., Sharipova N.N. Innovation in design of coolant air conditioner in tractor cabin. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2009. No 4, pp. 34–39 (in Russ.).
 15. Mikhaylov V.A., Sharipova N.N. *Sredstva normalizatsii mikroklimate i ozdorovleniya vozdushnoy sredy v kabinakh traktorov. Uchebnoe posobie dlya studentov spetsial'nosti 150100 «Avtomobile- i traktorostroenie»* [Means of normalizing microclimate and improving air environment in cabins of tractors. Textbook for students of specialty 150100 “Automobile and tractor construction”]. Pod obshch. red. V.M. Sharipova. Moscow: MGTU «MAMI» Publ., 2002. 90 p.
 16. Sharipov V.M., Apelinskiy D.V., Arustamov L.Kh. i dr. *Traktory. Konstruktsiya* [Tractors. construction]. Pod obshch. red. V.M. Sharipova. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2012. 790 p.

IMPROVEMENT OF DESIGN OF WATER EVAPORATIVE AIR COOLERS IN TRACTOR CABINS

Dr.Eng. **V.A. Mikhaylov**, Ph.D. **N.N. Sharipova**, Ph.D. **M.I. Dmitriev**
Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia,
avt@mami.ru

For mobile objects, at the moment, foreign companies supply for Russia a wide range of air conditioning devices based in on the refrigerant refrigerant (freon) refrigerators. They are designed for use in fundamentally different from our climatic conditions, characterized by a relatively short warm period of the year, which should be taken into account when choosing the operating modes and composition of the functional parts of air conditioning units. Two variants of the design of two-stage water-evaporative air coolers made according to a separate scheme are proposed, where as a first (main) unit intended for air conditioning, a block is used that contains a successively placed water-air heat exchanger and a water-sprayed nozzle, and as a second (auxiliary) unit, intended for the preparation of cold water supplied to said water-air heat exchanger of the first unit, a cooling tower is used, containing in one variant irrigated only nozzle, and in the second variant - unit, similar to the air conditioning unit. Comparison of the IKPV and IRKV with the pilot KPO and RKV (T02), as well as with the coolant conditioner, shows that they are almost as cool as the experimental ones, having a significantly lower mass at acceptable overall dimensions of the roof unit and have the possibility of additional "wet" cleaning it from fine dust and gaseous impurities; basing the design of the proposed coolers on the units used in the normalization of the microclimate makes it possible to create, if necessary, the modification of IKPV and IRKV of various capacities; in the climatic conditions of Russia, which do not require dehumidification of conditioned air, innovative coolers are comparable by the condition of providing in the tractor cabs normalized parameters of the microclimate with refrigerant air conditioning devices, significantly exceeding them in terms of energy saving. Their introduction in areas with dry hot climate can make an alternative to cold-air conditioners, which they significantly exceed in terms of energy saving.

Keywords: tractor cabin, microclimate normalization system, air cooler, efficiency, humidification, temperature, power consumption.