

АВТОМАТИЗАЦИЯ СТЕНДА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОКАЛЬНОГО ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ ДЛЯ ВОДИТЕЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

AUTOMATION OF THE TEST BENCH FOR EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE LOCAL AIR COOLER OF THE VEHICLE DRIVER

В.А. МИХАЙЛОВ, д.т.н.
Е.В. КЛИМОВА

Московский политехнический университет, Москва,
Россия, avt@mami.ru

V.A. MIKHAYLOV, DSc in Engineering
E.V. KLIMOVA

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia, avt@mami.ru

Рассмотрен вопрос автоматизации стенда для исследования и выбора на основе опытных данных рациональной подачи L воздуха локальным водоиспарительным охладителем для водителя транспортного средства (трактора, автомобиля, строительно-дорожной машины). В конструкции автоматизированного стенда, выполненного в виде открытой аэродинамической трубы, наряду со вспомогательным электровентилятором, электронагревателем обрабатываемого воздуха, локальным воздухоохладителем и имитатором тепловыделений человека $Q_{\text{ч}}$ имеются элементы для измерения и регулирования величин L , $Q_{\text{ч}}$, температуры t обрабатываемого воздуха и $t_{\text{ч}}$ – имитатора поверхности тела. К реализации принята система управления с активными вычислительными устройствами, где ведущую роль играет термостат STH0024UY-v3 с выносным датчиком температуры DS18B20, содержащий микропроцессор и управляющее электрическое реле. На такие модули для t и $t_{\text{ч}}$ возлагается основная функция автоматизированного управления стендом, а персональный компьютер обеспечивает выполнение программы автоматизированного управления в режиме «импульс – пауза – импульс», а также выполняет вспомогательную задачу по сбору и хранению информации о данных результатов исследования. В результате автоматизации стенда сокращается время и снимается трудоемкость исследования. При контрольной экспериментальной проверке функциональных качеств стенда установлено, что в ручном режиме управления стабилизация показаний $t_{\text{ч}}$, t и L на заданном уровне связана с большой эмоциональной и физической нагрузкой оператора, поскольку он должен почти непрерывно следить за ними и в какой-то мере интуитивно воздействовать на изменяющие их механизмы. При этом нерационально тратится значительное время на достижение необходимого результата. Автоматизированное управление может практически полностью освободить оператора от излишних манипуляций, и он лишь через определенные промежутки времени (не чаще 120 секунд) контролирует показания приборов, не вмешиваясь в работу стенда. Это снимает его эмоциональную и физическую нагрузку, причем вследствие исключения излишних манипуляций органами управления время эксперимента сократится.

Ключевые слова: нормализация теплового состояния водителя, локальный воздухоохладитель, автоматизированное управление, возмущающие воздействия, подача воздуха, тепловыделения водителя, температура воздуха, температура открытой поверхности тела, активные вычислительные устройства, исполнительные механизмы.

The question of automation of the test bench for research and selection on the basis of experimental data of rational supply of L air by a local water evaporator cooler of a vehicle driver (tractor, car, road-building machine) is considered. In the design of an automated test bench made in the form of an open wind tunnel, along with an auxiliary electric fan, an electric heater of the treated air, a local air cooler and a human heat simulator Q_{h} , there are elements for measuring and controlling the quantities L , Q_{h} , the temperature t of the treated air and t_{h} – the body surface simulator. The implementation of the control system with active computing devices, where the leading role is played by the STH0024UY-v3 thermostat with a remote temperature sensor DS18B20, containing a microprocessor and a control electrical relay. Such modules for t and t_{h} are assigned the main function of automated control of the stand, and the personal computer provides execution of the program of automated control in the «pulse – pause – pulse» mode, and also performs the auxiliary task of collecting and storing information about the data of the research results. As a result of the automation of the test bench, the time is shortened and the laboriousness of the study is eliminated. At control experimental check of functional qualities of the stand it is established that in the manual control mode the stabilization of indications t_{h} , t and L at a given level is associated with a great emotional and physical load of the operator, as he must almost continuously monitor them and to some extent intuitively influence changing their mechanisms. At the same time, a considerable time is wasted to achieve the necessary result. Automated control can almost completely free the operator from unnecessary manipulation, and only at certain intervals (not more than 120 seconds) he controls the readings of the instruments without interfering with the work of the stand. This removes his emotional and physical load, and due to the exclusion of unnecessary manipulation of controls, the experiment time will be shortened.

Keywords: normalization of the driver's thermal state, local air cooler, automated control, disturbing influences, driver's heat, emission air, air temperature, open body surface temperature, active computing devices, executive mechanisms.

Как указывается в публикации [1], для нормализации теплового состояния водителей транспортных средств (тракторов, строительно-дорожных машин, грузовых автомобилей, автобусов и др.) создан локальный водоиспарительный охладитель с орошаемой насадкой, рассчитанный на подачу воздуха 125 м³/ч (нормальный режим) и 100 м³/ч (пониженный режим) с глубиной его охлаждения, характеризующейся температурным коэффициентом эффективности $E_a = 0,66$. Однако в результате экспериментальной оценки функциональных качеств опытной модели такого воздухоохладителя в лабораторных и натурных условиях было установлено [2], что его указанная производительность L не в полной мере отвечает перспективному направлению [3] в части удовлетворения возможно большего числа людей с помощью такого индивидуального аппарата.

В работе [4] проведен анализ выявления причины этого функционального недостатка воздухоохладителя и выявлено, что для выполнения рекомендаций [5] в части эффективного использования единого аппарата на практике его подача L воздуха должна иметь бесступенчатую (плавную) регулировку от 68 до 120 м³/ч, исходя из субъективной реакции операторов – мужчин и женщин с расчетной массой тела $m_{\text{ч}} = 60...90$ кг, от которой зависит его тепловыделение $Q_{\text{ч}}$ (табл. 1).

Помимо учета этой особенности функционирования аппарата при выборе его производительности необходимо иметь в виду, что он должен эксплуатироваться в климатических зонах страны при различной наружной температуре воздуха, которая в реальных условиях в течение дневной рабочей смены существенно колеблется. Это обстоятельство будет влиять на функционирование комплекса «оператор – воздухоохладитель», что обуславливает необходимость проведения специального экспериментального исследования для выявления

функциональной связи между t и L при наличии здесь управляющего параметра $Q_{\text{ч}}$. Отметим, что во всех случаях функционирования локального аппарата должно быть выдержано условие: значение температуры открытой поверхности тела человека сохраняется постоянным $t_{\text{ч}} = 35$ °С, что свидетельствует о нормализации его теплового состояния [2]. В связи с изложенным для проведения соответствующего экспериментального исследования необходимо создать специальный лабораторный стенд, отражающий специфику функционирования комплекса «оператор – воздухоохладитель».

Известные лабораторные установки [6–8] для исследования водоиспарительных аппаратов решают относительно простую задачу – при заданных базовых значениях подачи L воздуха и изменении его начальной температуры t в определенных пределах оценивается эффективность E_a охлаждения этого воздуха. Сама же лабораторная установка выполняется в виде разомкнутой аэродинамической трубы, снабженной такими основными элементами, как электронагреватель воздуха, подаваемого на обработку в исследуемый аппарат, вентилятор переменной производительности и приборы для оценки расхода воздуха и его температуры по сухому и мокрому термометрам. Как показала практика, при ручном управлении стендом процесс исследования особых трудностей не вызывал. В нашем же случае ситуация существенно усложняется по следующим причинам.

Во-первых, указанный комплекс решает более углубленную задачу: для обеспечения постоянной температуры $t_{\text{ч}} = 35$ °С имитатора тепловыделений $Q_{\text{ч}}$ организма человека при их различных базовых значениях и переменной температуре t обрабатываемого воздуха требуется определить соответствующую необходимую величину его подачи L .

Таблица 1

Тепловыделения операторов в зависимости от их массы и пола
и расчетная минимально необходимая подача воздуха охладителем

Масса оператора, $m_{\text{ч}}$, кг		60	70	80	90
Тепловыделения, $Q_{\text{ч}}$, Вт	мужчины	168	196	224	252
	женщины	143	167	190	214
Подача воздуха, L , м³/ч	мужчины	80	93	106	120
	женщины	68	79	90	102

Во-вторых, автоматизированный комплекс более сложен в конструктивном отношении, поскольку должен быть оборудован вычислительным устройством, например персональным компьютером (ПК), и содержать следующие элементы:

- локальный воздухоохладитель (ЛВ) – объект исследования;
- устройство для измерения расхода воздуха (УРВ);
- электровентилятор (ЭВ);
- блок питания электровентилятора с ручным управлением (ПЭР);
- автоматический привод регулятора подачи воздуха (ПРВ);
- электронагреватель обрабатываемого воздуха (ЭОВ);
- блок питания с автоматическим регулятором электронагревателя (АРЭ);
- имитатор тепловыделений организма человека (ИТЧ);
- блок питания имитатора с ручным управлением (БПИ);
- индикатор температуры;
- усилитель сигнала.

Для решения поставленной задачи прежде всего необходимо выбрать вид управления стендом, который зависит от роли исследователя в этом процессе, форм связи и функционирования системы, распределения информационно-управляющих параметров между исследователем и вычислительным устройством, а также средствами контроля и управления [9]. Соответствующий анализ показал, что в нашем случае следует применить систему, которая наряду со сбором информации обеспечивает выдачу необходимых команд исполнительному механизму в процессе протекания опытов. Здесь важная роль отводится вычислительному устройству, а исследователь контролирует и решает наиболее сложные в техническом отношении вопросы, которые по объективным причинам не следует возлагать на вычислительное устройство.

В принятой нами управляющей системе с активным включением ПК исследователь осуществляет контроль и вмешивается в работу стенда только в тех случаях, когда из-за каких-либо обстоятельств нарушается алгоритм управления, и такая система согласно работе [9] носит название «супервизорная» – обладающая широкими возможностями и повышенной надежностью, поскольку ее работоспособность сохраняется при отключении компьютера.

Как указывается в работе [10], в общем виде автоматизированное управление объектом включает в себя комплекс операций, необходимых для формирования соответствующих целенаправленных воздействий на управляемый объект: получение информации (контроль), выработка и принятие решений (анализ), реализация управляющих воздействий (исполнение). Если операции получения информации и реализации управляющих воздействий здесь осуществляются автоматически, то для операций выработки и принятия решений необходимо найти рациональный алгоритм их выполнения.

В нашем случае целью управления является определение L при $t_q = \text{const}$ и переменных Q_q и t . Как следует из данных табл. 1, массив Q_q имеет восемь значений (149; 167; 168; 190; 196; 214; 224 и 252 Вт). В соответствии с рекомендациями Г.В. Веденяпина [11] количество базовых значений Q_q в эксперименте может быть сокращено до пяти (должно быть не менее четырех), и по правилу округления чисел получим базовые $Q_q = 150; 175; 200; 225; 250$ Вт. Что же касается t , то в соответствии с практикой исследований [6, 7] принимаются базовые значения $t = 25; 30; 35; 40$ °С. Таким образом, система управления должна обеспечить функционирование стенда в двадцати вариантах сочетания возмущающих воздействий Q_q и t . Тогда на логическом уровне [10], который, по существу, отражает функционирование системы в ручном режиме управления, должно быть обеспечено следующее.

Каждый опыт в эксперименте характеризуется двумя возмущающими воздействиями. В первую очередь, это задаваемая оператором вручную базовая величина Q_q , а во-вторых (при сохранении Q_q) – дополнительное воздействие на систему – последовательное (поочередное) через определенные промежутки времени – температуры воздуха t с четырьмя указанными выше значениями, также задаваемыми оператором вручную в начальный момент, которое далее поддерживается на постоянном уровне с помощью соответствующего автоматического устройства. Следовательно, система автоматизированного управления должна обеспечивать раздельное функционирование пяти (по числу базовых Q_q) идентичных по содержанию вполне самостоятельных режимов, сочетающих комбинацию своей базовой $Q_q = \text{const}$ и переменной базовой t . Таким образом, при постоянном, поддерживаемом ав-

томатом значения температуры $t_{\text{ч}}$ имитатора поверхности тела человека и возмущающем воздействии базовых значений тепловой нагрузки $Q_{\text{ч}} = 150; 175; 200; 225; 250$ Вт и температуры обрабатываемого воздуха $t = 25; 30; 35; 40$ °С эксперимент должен включать в себя двадцать режимов сочетаний $Q_{\text{ч}}$ и t . По результатам пятикратного повторения опыта на каждом режиме [11] получим массив осредненных значений соответствующего выходного параметра L , что отражено в табл. 2.

Исходя из изложенного и на основе рекомендаций работы [9] можно сформировать структурную схему автоматизированной системы управления стендом, представленную на рис. 1.

В систему управления, как ее составляющая, входит подсистема автоматизированного контроля, программу функционирования которой задает вычислительное устройство. Съем информации здесь осуществляется с датчиков, измеряющих параметры объекта управления. В нашем случае – это датчики измерения температуры D_1 и D_4 . Кроме этого в подсистеме контроля имеются так называемые «терминальные устройства» [9], предназначенные для выдачи информации о состоянии объекта управления в виде, удобном для восприятия исследователем, каковыми являются устройство для измерения расхода воздуха УРВ (контроль при промежуточном наблюдении и получении конечного результата), устройство для измерения задаваемой электрической (тепловой) мощности имитатора тепловыделения человека, датчики температуры воздуха D_2 и D_3 .

Особые требования здесь предъявляются к выбору датчика температуры. Он должен обладать такими качествами, как необходимая точность, надежность, совместимость с микропроцессорными устройствами информации,

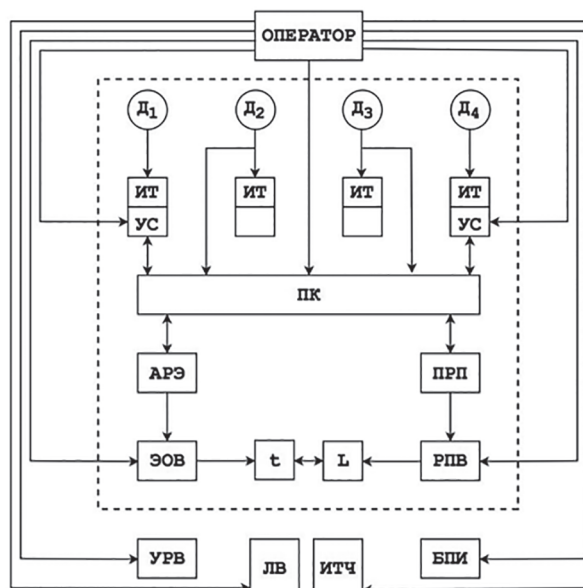


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы управления стендом для исследования локального водоиспарительного воздухоохладителя

а так же приемлемыми массой, габаритными размерами и стоимостью изделия [10]. В этом плане может быть принят выпускаемый в нашей стране цифровой термостат STH0024UY-v3 с встроенным микропроцессором и выносным датчиком температуры, характеристики которого представлены в табл. 3.

Модулем задаются температура и режим тестирования (нагрев или охлаждение), в зависимости от которого замыкаются или размыкаются контакты встроенного в нем реле при понижении или повышении измеряемой температуры с учетом гистерезиса. Настройка модуля и режима тестирования сохраняется в его энергозависимой электронной памяти, что дает возможность осуществить в системе основную часть управления, не прибегая к помощи компьютера. Вместе с тем в модуле

Таблица 2

Режимы и результаты эксперимента

Возмущающее воздействие, t , °С	40	L_{150}^{40}	L_{175}^{40}	L_{200}^{40}	L_{225}^{40}	L_{250}^{40}
	35	L_{150}^{35}	L_{175}^{35}	L_{200}^{35}	L_{225}^{35}	L_{250}^{35}
	30	L_{150}^{30}	L_{175}^{30}	L_{200}^{30}	L_{225}^{30}	L_{250}^{30}
	25	L_{150}^{25}	L_{175}^{25}	L_{200}^{25}	L_{225}^{25}	L_{250}^{25}
		150	175	200	225	250
Возмущающее воздействие $Q_{\text{ч}}$, Вт						

Таблица 3

Технические характеристики модуля цифрового термостата с выносным датчиком температуры

Диапазон измеряемых температур	-55 °С...+125 °С
Шаг гистерезиса	0,1 °С
Напряжение питания	7–15 В
Потребляемый ток	0,02–0,13 А
Коммутируемый переменный ток при 240 В	до 10 А
Коммутируемый постоянный ток при 28 А	до 10 А
Погрешность в диапазоне +10°С – +85 °С	±0,5°С
Температура эксплуатации цифрового индикатора	-40 °С...+70 °С
Габаритные размеры	82,5×435×434,5 мм
Термодатчик (выносной)	DS18B20
Длина кабеля с термодатчиком температуры	2 м

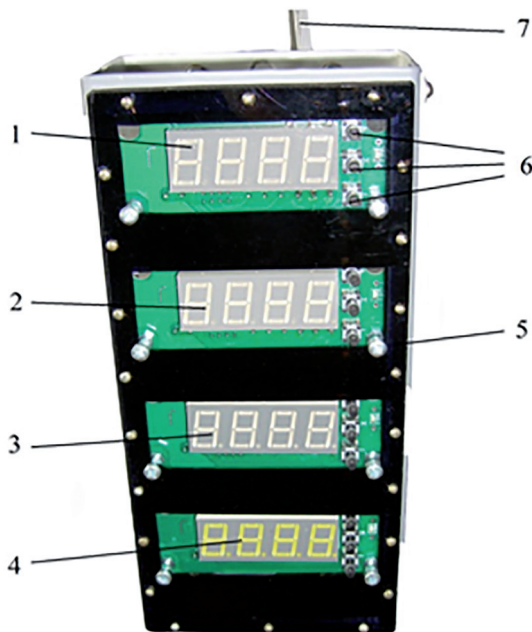


Рис. 2. Монтажный моноблок модулей цифровых термостатов STN0024UY-v3:

- 1 – модуль датчика начальной температуры t обрабатываемого воздуха по сухому термометру; 2 – модуль датчика начальной температуры t_m по мокрому термометру; 3 – модуль датчика температуры t_a по сухому термометру охлажденного воздуха; 4 – модуль датчика температуры t_c имитатора тепловыделений поверхности тела человека; 5 – корпус моноблока; 6 – кнопки настройки режимов работы модуля; 7 – пучок кабелей передачи сигнала от выносных датчиков температуры к модулям

имеются контакты ICP для дополнительной с ним связи.

На рис. 2 показан общий вид изготовленного применительно к нашему стенду моноблока из четырех указанных модулей, в котором размещен необходимый преобразователь с переменного тока напряжением 220 В на постоянное напряжение 12 В.

Для обеспечения функционирования системы в автоматизированном режиме управления она оснащена соответствующими специальными приводными механизмами. Так, исполнительный механизм ЭОВ в виде лабораторного автотрансформатора снабжен АРЭ с приводным редуктором с реверсивным электродвигателем, а исполнительный механизм РПВ в виде поворотной заслонки в воздуховоде оборудован автоматическим регулятором с приводным редуктором с шаговым электродвигателем.

Для имитации тепловыделений человека в установке применен проволочный электронагреватель, размещенный в выходной части воздуховода – диффузора, поперечные размеры которого в месте размещения электронагревателя соответствуют площади «пятна контакта» области голова – грудь тела человека по рекомендации публикации [12]. Рассчитаны значения напряжения V и тока J для обеспечения его электрической (тепловой) мощности W , соответствующей базовым Q_q , что отражено в табл. 4.

Контроль значений V осуществляется по показаниям цифрового индикатора на ручном регуляторе электрической мощности имитатора, а контроль величины тока J – с помощью тестера.

Оценка расхода воздуха L на стенде производится в соответствии с ГОСТ 10921-90 с помощью микроманометра МКВ-250 [13], измеряющего давление во входном, снабженном соплом Вентури воздуховоде вспомогательного вентилятора, по значению которого и рассчитывается L .

Общий вид автоматизированного стенда представлен на рис. 3 (здесь условно не показан персональный компьютер).

Работа стенда происходит следующим образом. Оператор-исследователь приводит в действие воздухоохладитель $2I$, включив имеющиеся у него тумблеры водяного насоса и нормального режима подачи воздуха. Затем запускается электровентилятор 5 стенда, и с помощью регулятора включенного в сеть 220 В

Таблица 4

Контролируемые параметры электронагревателя имитатора тепловыделений человека

Параметры	Значение				
Мощность W , Вт	150	175	200	225	250
Сопротивление R , Ом	135	135	135	135	135
Ток I , А	1,06	1,14	1,22	1,29	1,36
Напряжение V , В	142	154	164	176	184

блока-выпрямителя питания 10 при наполовину открытом вручную положении поворотной заслонки в воздуховоде 24 устанавливается первоначальный расход воздуха в системе на уровне нормального у воздухоохладителя – $L_{исх} = 125 \text{ м}^3/\text{ч}$, который контролируется по показаниям микроманометра 9.

Приводятся в действие цифровые термостаты путем включения в сеть 220 В моноблока 12. Затем запускается в работу имитатор 19

тепловыделений человека, в электронагреватель которого от регулятора 13 подается напряжение и ток, обеспечивающий по табл. 4 максимальную базовую мощность 250 Вт, устанавливаемую ручным управлением.

Включенным в сеть 220 В регулирующим агрегатом 11 вручную достигается максимальная исходная базовая $t = 40^\circ\text{C}$ обрабатываемого воздуха (контролируется по показанию цифрового индикатора модуля 1 на рис. 2).

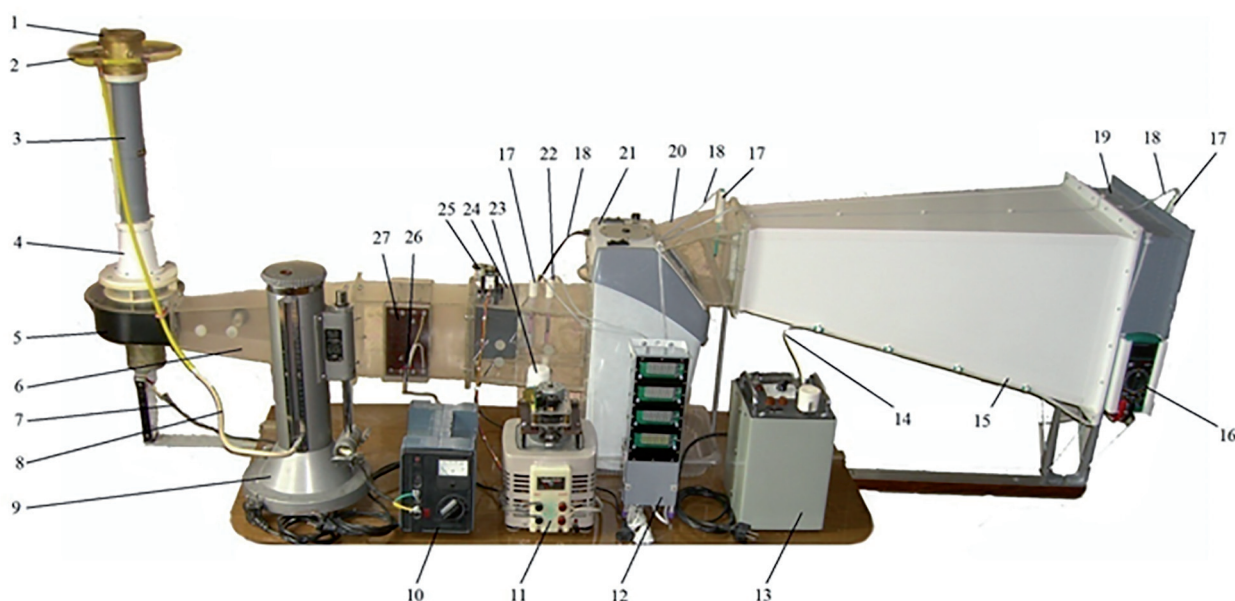


Рис. 3. Общий вид автоматизированного стенда для исследования
локального водоиспарительного воздухоохладителя водителей машин:

- 1 – сопло Вентури; 2 – закольцовка штуцеров сопла Вентури; 3 – стабилизирующий воздуховод;
- 4 – соединительный воздуховод; 5 – вспомогательный электроventильатор; 6 – направляющий воздуховод;
- 7 – провод питания электроventильатора; 8 – соединительный шланг; 9 – микроманометр МКВ-250;
- 10 – блок-выпрямитель питания электроventильатора; 11 – автоматизированный регулирующий агрегат питания электронагревателя обрабатываемого потока воздуха; 12 – моноблок модулей цифровых термостатов; 13 – регулятор электрической мощности имитатора тепловыделений человека с цифровым индикатором напряжения; 14 – провод питания имитатора; 15 – диффузор; 16 – тестер контроля величины регулирования тока имитатора; 17 – сухой датчик температуры; 18 – кабель датчика температуры;
- 19 – имитатор тепловыделений человека; 20 – патрубок охлажденного воздуха; 21 – воздухоохладитель;
- 22 – мокрый датчик температуры; 23 – баллончик с водой для подпитки мокрого датчика температуры;
- 24 – воздуховод с поворотной заслонкой регулирования подачи воздуха; 25 – автоматизированный агрегат привода заслонки; 26 – привод питания электронагревателя обрабатываемого потока воздуха;
- 27 – электронагреватель обрабатываемого потока воздуха

Подчеркнем, что при указанной предварительной настройке работы стенда регуляторы в агрегатах *II* и *25* находятся в режиме ручного управления.

По истечении какого-то времени система достигнет установившегося теплового состояния (постоянство величин расхода L , температуры t и $t_{\text{ч}}$). При этом величины L и t должны соответствовать указанным выше принятым значениям $125 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Однако это не касается $t_{\text{ч}}$. Можно утверждать, что ее величина не будет соответствовать требуемому значению $35 \text{ }^\circ\text{C}$ при погрешности измерения $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (см. табл. 3). Следовательно, требуется дополнительное регулирование, чтобы при заданной постоянной $Q_{\text{ч}} = 250 \text{ Вт}$ определить величину L , необходимую для обеспечения $t_{\text{ч}}$. Для этого регуляторы в агрегатах *II* и *25* переводятся в режим автоматического управления, поскольку указанная величина $t_{\text{ч}} = 35 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ запрограммирована в термостате модуля *4* (см. рис. 2), равно как и введена в память соответствующего модуля температура $t_{\text{ч}} = 40 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

В результате воздействия сигнала термостата, поддерживающего $t_{\text{ч}}$, на агрегат *25* привода заслонки величина подачи воздуха L изменится в нужном направлении. Вместе с тем, это приведет к нежелательному отклонению величины t от заданного значения $40 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Однако другой термостат, поддерживающий t , подаст необходимый сигнал в регулирующий агрегат *II*, в результате чего изменится теплопроизводительность электронагревателя *27*, но это может оказать негативное влияние на $t_{\text{ч}}$. Тогда произойдет очередное воздействие сигнала термостата для $t_{\text{ч}}$ на агрегат *25* привода заслонки, а за ним – очередное отклонение величин L и t , и так далее при уменьшении размаха колебаний указанных отклонений. Такой колебательный процесс затухания величин будет продолжаться до тех пор, пока не наступит условие стабилизации L при $Q_{\text{ч}} = 250 \text{ Вт}$, $t_{\text{ч}} = 35 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t = 40 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Сокращению времени достижения стабилизации процесса с одновременным исключением явления перерегулирования способствует импульсное (порционное) воздействие на поворотную заслонку в воздуховоде *24* и агрегат *II*. Оно заключается в выполнении команды «импульс – пауза – импульс», заложенной в программе персонального компьютера и проходящей оттуда не соответствующий привод

исполнительного органа, как это показано на рис. 1. Отметим, что положительную роль здесь играет наличие шагового электродвигателя в приводе заслонки.

После окончания указанного стартового эксперимента и фиксирования исследователем полученных результатов далее при $Q_{\text{ч}} = 250 \text{ Вт}$ завершается подобным образом начальная серия опытов при остальных базовых $t = 35; 30; 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Затем проводятся последовательно другие серии опытов при остальных $Q_{\text{ч}} = 225; 200; 175; 150 \text{ Вт}$ и указанных базовых температурах $t = 40; 35; 30; 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

В нашем случае в каждой серии опытов имеет место периодическая связь автоматических регуляторов с управляемыми параметрами. Это относится к регуляторам прерывистого действия, и здесь важным является определение и назначение в программе компьютера продолжительности паузы T , т.е. времени действия установки при достигнутой подаче воздуха L в промежутке между двумя импульсами включения регулируемого органа. Поскольку определить расчетным путем величину T не представляется возможным из-за сложности протекания в системе нестационарного теплового процесса, то следует использовать информацию о том, что если исполнительный орган в системе регулирования воздухоохлаждения и вентиляции будет открытым в течение 120 секунд, то можно обеспечить стабилизацию ее работы. Это принято нами к реализации.

При разработке программы персонального компьютера в нашем случае (помимо обычного сбора и хранения информации по результатам эксперимента) на него возлагается относительно простая для соответствующих специалистов задача по обеспечению функции «импульс – пауза – импульс». Основная же нагрузка по обеспечению автоматизированного управления стендом ложится на термостаты *STH0024UY-v3*.

По завершении всего комплекса экспериментов проводится обработка полученных по табл. 2 данных, дается оценка их сходимости с расчетными значениями L , а также выделяется (уточняется) функциональная связь между t и L на основе построения и анализа соответствующих графиков зависимости L от t при каждой $Q_{\text{ч}} = \text{const}$.

При контрольной экспериментальной проверке функциональных качеств стенда выявлено следующее.

В ручном режиме управления стабилизация показаний t_c , t и L на заданном уровне связана с большой эмоциональной и физической нагрузкой оператора, поскольку он должен почти непрерывно следить за ними и в какой-то мере интуитивно воздействовать на изменяющие их механизмы. При этом нерационально тратится значительное время на достижение необходимого результата.

Автоматизированное управление может практически полностью освободить оператора от излишних манипуляций, и он лишь через определенные промежутки времени (не чаще тех же 120 секунд) контролирует показания приборов, не вмешиваясь в работу стенда. Это снимает его эмоциональную и физическую нагрузку, причем вследствие исключения излишних манипуляций органами управления время эксперимента сократится.

Литература

1. Михайлов В.А., Шарипова Н.Н. Инновационный локальный водоиспарительный воздухоохладитель для кабин тракторов // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 2. С. 3–6.
2. Михайлов В.А., Сотникова Е.В., Карев С.В. Нормализация теплового состояния оператора транспортного средства локальным охлаждением // Безопасность жизнедеятельности. 2008. № 9. С. 2–9.
3. Фангер П.О. Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей // АВОК. 2003. № 4. С. 12–21.
4. Михайлов В.А., Дмитриев М.И., Ивоботенко Б.А. Режимы работы локального водоиспарительного воздухоохладителя кабин самоходных машин с учетом индивидуальности операторов и изменчивости температурных условий // Известия МГТУ «МАМИ». 2016. № 1 (27). С. 42–46.
5. Бурцев С.И., Цветков Ю.Н. Тепловой и газовый комфорт с учетом индивидуальных особенностей человека // Теплоэнергоэффективные технологии. 2002. № 1. С. 37–41.
6. Михайлов В.А. Исследование и разработка средств улучшения микроклимата в кабине универсально-пропашного трактора: дис. ... канд. техн. наук. М., 1976. 173 с.
7. Михайлов В.А. Создание системы модульных типизированных и унифицированных средств нормализации микроклимата и оздоровления воздушной среды в кабинах самоходных машин: дис. доктора техн. наук. М., 1999. 492 с.
8. Трелина К.В. Испарительное увлажнение воздушного заряда двигателей сельскохозяйствен-

ной техники для уменьшения выбросов оксидов азота (на примере двигателя Д-120 (Д-21)): автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2007. 19 с.

9. Меша К.И., Харитонов В.И. Автоматизированное управление в технических системах. М.: МАМИ, 2013. 125 с.
10. Бунько Е.Б., Меша К.И., Мурачев Е.Г., Смирнов В.Е., Харитонов В.И. Управление техническими системами / Под ред. В.И. Харитонova. М.: Форум, 2010. 384 с.
11. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. М.: Колос, 1973. 199 с.
12. Михайлов В.А., Шарипова Н.Н. Оценка функциональных качеств локального воздухоохладителя в кабине трактора // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 10. С. 20–23.
13. ГОСТ 10921-90. Вентиляторы радиальные и осевые. Методы аэродинамических испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1991. 32 с.

References

1. Mikhaylov V.A., Sharipova N.N. Innovative local water evaporator air cooler for tractor cabins. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2014. No 2, pp. 3–6 (in Russ.).
2. Mikhaylov V.A., Sotnikova E.V., Karev S.V. Normalization of the thermal state of the vehicle operator by local cooling. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2008. No 9, pp. 2–9 (in Russ.).
3. Fanger P.O. Quality of indoor air in the 21st century: impact on comfort, productivity and human health. *AVOK*. 2003. No 4, pp. 12–21 (in Russ.).
4. Mikhaylov V.A., Dmitriev M.I., Ivobotenko B.A. Modes of operation of the local water evaporative air cooler of self-propelled machines cabins, taking into consideration the individuality of the operators and the variability of temperature conditions. *Izvestiya MG TU «MAMI»*. 2016. No 1 (27), pp. 42–46 (in Russ.).
5. Burtsev S.I., Tsvetkov Yu.N. Thermal and gas comfort, taking into account individual characteristics of a person. *Teploenergoeffektivnye tekhnologii*. 2002. No 1, pp. 37–41 (in Russ.).
6. Mikhaylov V.A. Issledovanie i razrabotka sredstv uluchsheniya mikroklimate v kabine universal'no-propashnogo traktora: dis. ... kand. tekhn. nauk [Research and development of means for improving the microclimate in the cabin of the universal tractors: dissertation for degree of Candidate of Technical Sciences]. Moscow, 1976. 173 p.
7. Mikhaylov V.A. Sozdanie sistemy modul'nykh tipizirovannykh i unifitsirovannykh sredstv normalizatsii mikroklimate i ozdorovleniya vozduшной sredy v ka-

- binakh samokhodnykh mashin: dis. ... doktora tekhn. nauk [Creation of a system of modular, typed and unified means of normalizing the microclimate and improving the air environment in the cabins of self-propelled vehicles: dissertation for degree of Doctor of Technical Sciences]. Moscow, 1999. 492 p.
8. Trelina K.V. Isparitel'noe uvlazhnenie vozdushnogo zaryada dvigateley sel'skokhozyaystvennoy tekhniki dlya umen'sheniya vybrosov oksidov azota (na primere dvigatelya D-120 (D-21)): avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Evaporative humidification of the air charge of agricultural machinery engines to reduce emissions of nitrogen oxides (using the D-120 engine as an example): abstract of for degree of Candidate of Technical Sciences]. Moscow, 2007. 19 p.
 9. Mesha K.I., Kharitonov V.I. Avtomatizirovannoe upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh [Automated control in technical systems]. Moscow: MAMI Publ., 2013. 125 p.
 10. Bun'ko E.B., Mesha K.I., Murachev E.G., Smirnov V.E., Kharitonov V.I. Upravlenie tekhnicheskimi sistemami [Control of technical systems]. Pod red. V.I. Kharitonova. Moscow: Forum Publ., 2010. 384 p.
 11. Vedenyapin G.V. Obshchaya metodika eksperimental'nogo issledovaniya i obrabotki opytnykh dannykh [General method of experimental research and processing of experimental data]. Moscow: Kolos Publ., 1973. 199 p.
 12. Mikhaylov V.A., Sharipova N.N. Evaluation of the functional qualities of the local air cooler in the tractor cabin. Traktory i sel'khoz mashiny. 2012. No 10, pp. 20–23 (in Russ.).
 13. GOST 10921-90. Radial and axial fans. Methods of aerodynamic testing. Moscow: Izd-vo standartov Publ., 1991. 32 p.