

УДК 621.56

Р.Н. РАДЧЕНКО*Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина*

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СУДОВЫХ УСТАНОВОК КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Выполнен анализ автоматизированных систем регулирования подачи пара в нагреватели воздуха судовых кондиционеров с учетом тепловой эффективности нагревателей. Установлено, что наиболее эффективным является схемное решение с неполной конденсацией в паровом нагревателе воздуха первой ступени и конденсацией несконденсировавшегося пара в нагревателе второй ступени после его отделения от конденсата в сепараторе. При этом плотность теплового потока в паровом нагревателе воздуха первой ступени повышается на 20 % и полностью исключается опасность замерзания конденсата.

судовой кондиционер, паровой нагреватель воздуха, регулирование расхода, неполная конденсация

Постановка проблемы и выделение нерешенных задач

Наиболее широкое распространение на судах получили центральные кондиционеры, обслуживающие группу помещений или все судно. В таком кондиционере производится качественная – тепловлажностная – обработка воздуха, а регулирование параметров воздуха в обслуживаемых помещениях осуществляется путем изменения количества подаваемого в них воздуха (одноканальные системы кондиционирования воздуха) или соотношения количеств обработанного в кондиционере воздуха и воздуха помещения – рециркуляционного воздуха (двухканальные системы) [1, 2]. Входными параметрами центрального кондиционера являются температура и влагосодержание наружного воздуха (в системах с рециркуляцией – еще и рециркуляционного воздуха), а выходными – температура и влагосодержание воздуха на выходе из кондиционера. Система автоматизированного регулирования кондиционера должна обеспечивать такие выходные параметры воздуха, которые с учетом последующего количественного регулирования (изменением расхода воздуха, подаваемого в отдельные помещения) отвечали бы комфортным условиям в обслуживаемых помещениях при меняющихся параметрах наружного

воздуха. Таким образом, качественная, тепловлажностная, обработка воздуха в кондиционере является необходимым условием, обеспечивающим возможность количественного регулирования параметров воздуха, т.е. поддержание микроклимата помещений осуществляется двухступенчато.

Роль системы автоматизированного регулирования кондиционера как первой ступени, обеспечивающей не только качественное регулирование, но и надежную эксплуатацию системы кондиционирования в целом (исключение замерзания конденсата в паровых нагревателях воздуха в зимнем режиме и обмерзания воздухоохладителей – в летнем) является определяющей. Кроме того, системы автоматизированного регулирования кондиционера должна обеспечивать тепловлажностную обработку воздуха с минимальными энергозатратами. К сожалению, существующие системы не отвечают в полной мере этому требованию, поскольку регулируют работу теплообменных аппаратов, исходя из требуемых параметров воздуха, но без учета тепловой эффективности самих аппаратов. Очевидно, что рациональные схемные решения систем автоматизированного регулирования кондиционеров должны обеспечивать максимальную тепловую эффективность аппаратов тепловлажностной обработки воздуха.

Цель исследования – анализ энергетической эффективности систем автоматизированного регулирования паровых нагревателей воздуха судовых центральных кондиционеров с учетом тепловой эффективности аппаратов и выбор их рациональных вариантов

Анализ эффективности систем автоматизированного регулирования паровых нагревателей воздуха судовых центральных кондиционеров и выбор их рациональных вариантов

Основными требованиями, предъявляемыми к системам автоматизированного регулирования паровых нагревателей воздуха (ПНВ) судовых кондиционеров, являются поддержание необходимой температуры воздуха на выходе $t_{в2}$ при переменных температурах на входе $t_{в1}$ путем изменения расхода пара, а также обеспечение надежной, исключающей опасность замерзания конденсата в трубках, работы нагревателей. В настоящее время регулирование расхода пара осуществляется его дросселированием.

На рис. 1 представлена схема автоматизированной системы регулирования одноступенчатого ПНВ центрального кондиционера судов типа «Инженер Пархонюк» (Дания).

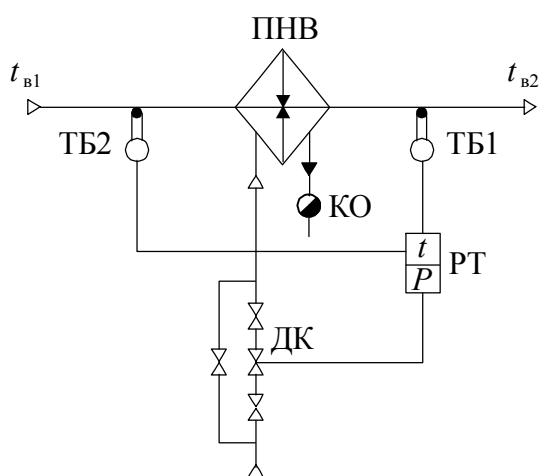


Рис. 1. Схема автоматизированного регулирования расхода пара через одноступенчатый ПНВ центрального кондиционера

В состав двухимпульсного регулятора температуры «Glorius» входят основной термобаллон ТБ1 и дополнительный ТБ2. Регулирование температуры воздуха на выходе из кондиционера осуществляется с учетом температуры наружного воздуха путем изменения расхода пара с помощью исполнительного механизма в виде дроссельного клапана ДК. Регулирование подачи пара на увлажнитель воздуха производится вручную его дросселированием.

Схема системы регулирования двухступенчатого ПНВ приведена на рис. 2. Паровые нагреватели воздуха обеих ступеней оборудованы двухимпульсными регуляторами температуры, осуществляющими изменение температуры воздуха на выходе каждой из них с учетом изменения наружной температуры. Каждая из двух ступеней нагревателя рассчитана на подогрев воздуха на $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Основные термобаллоны ТБ1 регуляторов первой и второй ступеней настроены на температуру воздуха на выходе каждой ступени, равную требуемой температуре воздуха после второй ступени (например, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

На номинальном режиме (например, при температуре воздуха на входе $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) оба дроссельных клапана ДК1 и ДК2 полностью открыты, и расход пара регулируется только конденсатоотводчиками КО. При изменении наружной температуры, например от номинального ее значения -20 до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, сначала уменьшается расход пара через вторую (высокотемпературную) ступень вплоть до нуля. Дроссельный клапан первой (низкотемпературной) ступени при этом полностью открыт, т.е. регулирование расхода пара через нее осуществляется только конденсатоотводчиком КО. При этом из-за частых включений КО и, соответственно, повышенного его износа имеет место проскок несконденсировавшегося пара в конденсатопровод. При закрытом КО и отрицательной температуре воздуха возможно замерзание конденсата, скапливающегося в трубках ПНВ первой ступени. И только после полного закрытия дроссельного клапана ПНВ второй ступени

ДК2 при дальнейшем увеличении температуры наружного воздуха регулирование расхода пара осуществляется уже и через первую ступень – дроссельным клапаном ДК1. Такой системой оборудованы центральные кондиционеры типа «Бриз» и «Пассат» [3].

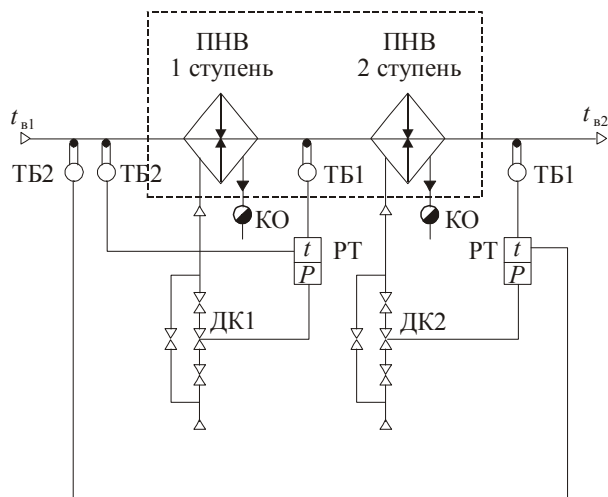


Рис. 2. Схема автоматизированного регулирования расхода пара через двухступенчатый ПНВ центральных кондиционеров типа «Бриз» и «Пассат»

В последнее время в двухступенчатых нагревателях нашла применение схема регулирования расхода пара с одним регулятором температуры и двумя исполнительными механизмами (рис. 3). При этом основной ТБ1 и дополнительный ТБ2 термобаллоны установлены соответственно на выходе второй ступени и входе первой. Как и в предыдущем случае, регулятор температуры настроен таким образом, что при повышении температуры воздуха на входе сначала уменьшается расход пара через вторую ступень (вплоть до ее отключения) и только после этого – через первую.

Для северных районов плавания применяются трехступенчатые ПНВ, в которых система регулирования расхода пара через первую (низкотемпературную) и вторую (среднетемпературную) ступени аналогична приведенной на рис. 3, а расход пара через третью (высокотемпературную) ступень регу-

лируется исключительно конденсатоотводчиком (рис. 4).

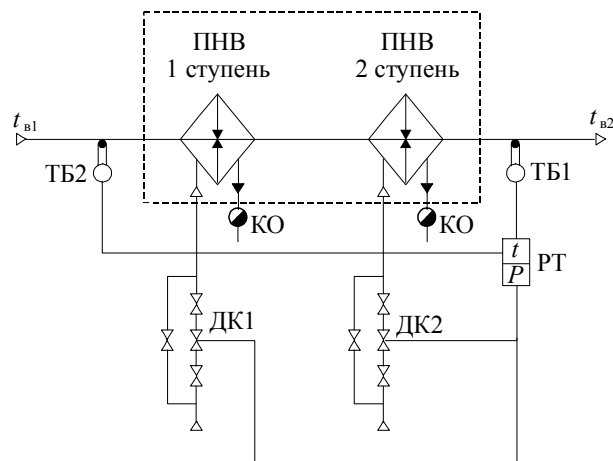


Рис. 3. Схема автоматизированного регулирования расхода пара в двухступенчатом ПНВ с общим регулятором температуры

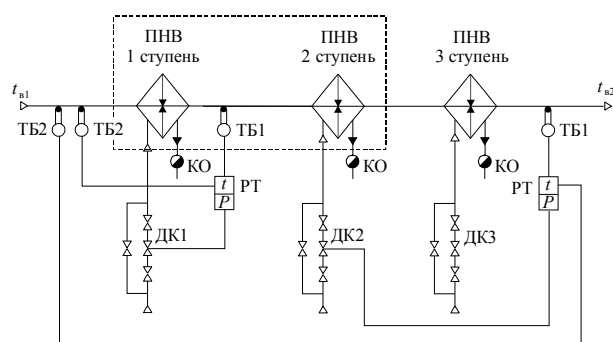


Рис. 4. Схема автоматизированного регулирования расхода пара в трехступенчатом ПНВ

Тепловые расчеты ПНВ показали, что существуют оптимальные расходы пара, обеспечивающие максимальные плотности теплового потока, а значит, и теплосъемы с их поверхности при разных температурах воздуха на входе. Из этого следует, что в случае двухступенчатых ПНВ имеет место некоторое оптимальное соотношение расходов пара через ступени. Установлено, что для обеспечения максимального теплосъема с поверхности двухступенчатых ПНВ необходимо поддерживать расход пара через первую ступень в диапазоне 50...60% суммарного. Схема регулирования расхода пара через двухступенчатый ПНВ приведена на рис.5. Ее особенностью является то, что расход пара через обе

ступени ПНВ регулируется автоматически дроссельным клапаном ДК регулятора температуры РТ, а оптимальное соотношение расходов через ступени устанавливается вручную клапанами ДК1 и ДК2.

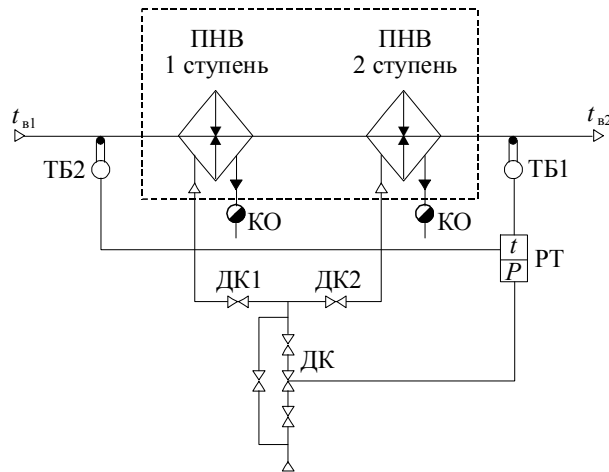


Рис. 5. Предложенная схема регулирования расхода пара в двухступенчатом ПНВ

Следует отметить, что во всех приведенных схемах регулирования в ПНВ происходит полная конденсация водяного пара с переохлаждением конденсата. Однако в ряде работ [4, 5] было показано, что интенсивность теплообмена на завершающей стадии фазового перехода, когда малоподвижный конденсат занимает большую часть сечения канала, крайне низкая. Это приводит к повышению разности температур между конденсирующимся паром и нагреваемым воздухом и необходимости увеличения расхода пара для достижения требуемой температуры воздуха, т.е. к дополнительным энергозатратам.

На рис. 6, а показано изменение коэффициентов теплоотдачи к конденсирующемуся пару $\alpha_{\text{п}}$, конденсату $\alpha_{\text{кт}}$, воздуху $\alpha_{\text{в}}$ и теплопередачи k по длине L трубки ПНВ. Степень оребрения (отношение наружной ребристой к внутренней гладкой поверхности трубки) равна 16. Оребрение – пластинчатое [3]. Как видно, в основной части фазового перехода, где $\alpha_{\text{п}}$ намного выше $\alpha_{\text{в}}$, теплопередача лимитируется последней. На завершающей же стадии конденсации интенсивность теплоотдачи к малоподвижному конденсату снижается до интенсивности теплоотдачи к

конденсату $\alpha_{\text{кт}}$ и оказывается значительно ниже, чем к воздуху, лимитируя теплопередачу (коэффициент теплопередачи k , плотность теплового потока q и тепловой поток Q) в целом (рис. 6, б). Разная интенсивность теплопередачи по длине L трубки вызывает изменение температуры $t_{\text{в2}}$ воздуха на выходе из ПНВ.

Понижение температуры $t_{\text{в2}}$ на второй половине длины трубки до отрицательных значений, близких ее значениям $t_{\text{в1}}$ на входе, свидетельствует о резком ухудшении теплопереноса и опасности замерзания конденсата на выходе из трубок.

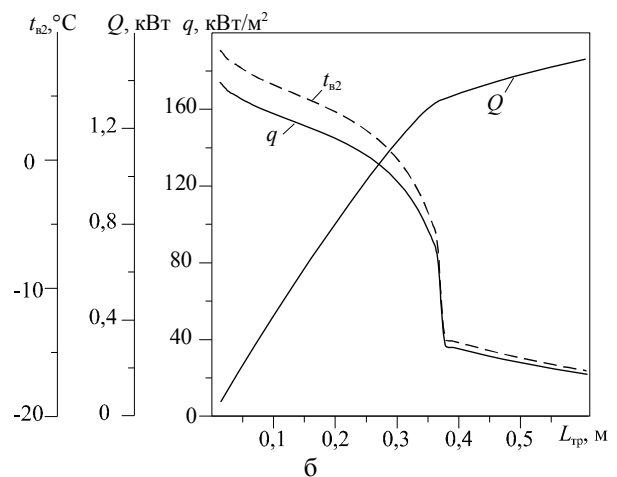
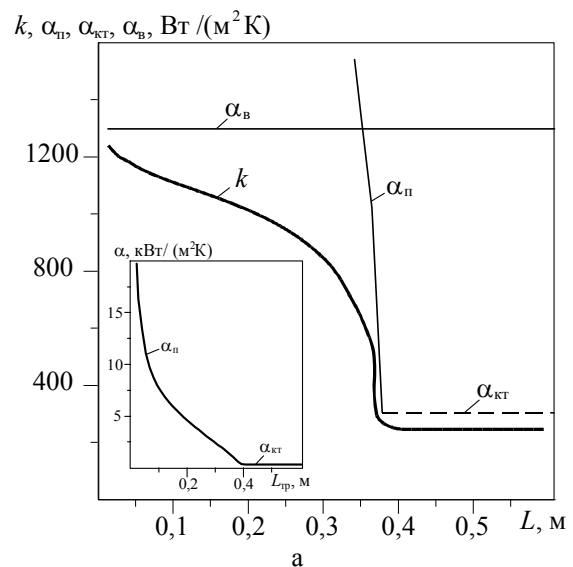


Рис. 6. Изменение значений коэффициентов теплоотдачи к конденсирующемуся пару $\alpha_{\text{п}}$, конденсату $\alpha_{\text{кт}}$, воздуху $\alpha_{\text{в}}$ и теплопередачи k (а), плотности теплового потока q , теплового потока Q и температуры воздуха на выходе $t_{\text{в2}}$ (б) по длине L трубки ПНВ

Исключение завершающей стадии конденсации в ПНВ первой ступени обеспечивает интенсивную теплопередачу и большие плотности теплового потока в нем, устраняет опасность замерзания конденсата. Для этого необходимо подавать в ПНВ первой ступени повышенный расход пара, а несконденсировавшийся в нем пар отделять от конденсата и конденсировать в ПНВ второй ступени (рис. 7).

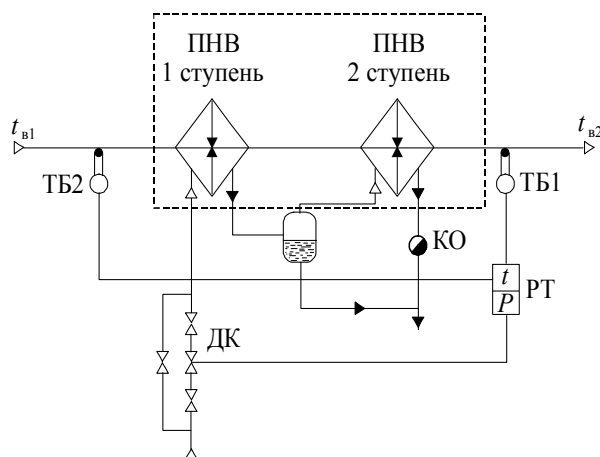


Рис. 7. Схема регулирования расхода пара в двухступенчатом ПНВ с промежуточной сепарацией пара

Результаты расчетов показывают, что такое схемное решение обеспечивает повышение плотности теплового потока на 20 % и исключает замерзание конденсата в ПНВ первой ступени.

Выводы

1. Энергетически наиболее эффективным является схемное решение системы автоматизированного регулирования паровых нагревателей воздуха судового кондиционера с неполной конденсацией в ПНВ первой ступени и подачей несконденсировав-

шегося пара в ПНВ второй ступени после его отделения от конденсата в сепараторе. Оно обеспечивает повышение плотности теплового потока на 20% и исключает замерзание конденсата в паровом нагревателе воздуха первой ступени.

2. Выбор рационального варианта автоматизированной системы регулирования паровых нагревателей воздуха должен осуществляться с учетом тепловой эффективности аппарата.

Литература

1. Касалайнен Н.Н. Обработка воздуха в судовых системах кондиционирования. – Л.: Судостроение, 1971. – 220 с.
2. Рымкевич А.А., Халамейзер М.Б. Управление системами кондиционирования воздуха. – М.: Машиностроение, 1977. – 214 с.
3. Захаров Ю.В. Судовые установки кондиционирования воздуха и холодильные машины. – С.-Пб.: Судостроение, 1994. – 504 с.
4. Traviss D.P., Rohsenow W.M., Baron A.B. Forced convection condensation in tubes: a heat transfer correlation for condenser design // ASHRAE Transactions. – 1973. – Vol. 79. – P. 157-165.
5. Chawla J.M. Condenser with an auxiliary vapour-circuit // Int. Inst. of Refrigeration, Comm. B-1, B-2 and E-1. – Freudenstadt 1972, Annex 1972-1. – P. 399-405.

Поступила в редакцию 10.05.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.Г. Чумак, Одесская государственная академия холода, Одесса.