

Improving the Efficiency of the Heat Pump Control System of Carbon Dioxide Heat Pump with Several Evaporators and Gas Coolers

Sit M.L., Juravliov A.A., Sit B.M., Timchenko D.

Institute of Power Engineering of the ASM, Chisinau, Republic of Moldova

Abstract. The problem of coordination of the values of the refrigerant flow through the evaporators and gas coolers of the heat pump for the simultaneous production of heat and cold is studied. The compensation of the variations of the total flow through the evaporators is implemented using the variation of the capacity of the compressor and a corresponding change in flow through the auxiliary gas cooler of the heat pump. Control system of this gas cooler is constructed using the invariance principle of the output value (outlet temperature of the heated agent) with respect to perturbations on the control channel (the refrigerant flow through the gas cooler). Principle of dual-channel compensation of the disturbance and advancing signal on input of control valve of the refrigerant through the gas cooler is ensured. Due to proposed solution, the intensity of the disturbances on the flow of refrigerant is reduced. Due to proposed technical solution power consumed by the heat pump compressor drive under transients is decreased.

Keywords: heat pumps, simultaneous production of heat and cold, control systems using the principle of invariance.

Îmbunătățirea eficienței sistemului de dirijare a pompei de căldură cu dioxid de carbon cu câteva vaporizatoare și răcitoare de gaze

Șit M.L., Juravleov A.A., Șit B.M., Timcenco D.V.

Institutul de Energetică al Academiei de Științe a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. Se examinează problema coordonării valorilor debitului de agent frigorific prin vaporizatoare și răcitoarele de gaze a pompei de căldură pentru generarea simultană a căldurii și frigului, în care compensarea variației debitului total prin vaporizatoare se realizează prin schimbarea capacității compresorului și cu variația prin răcitorul suplimentar de gaze. Sistemul de dirijare a răcitorului suplimentar de gaze este realizat, folosind principiul de invarianță a semnalului de ieșire (temperatura la ieșire a agentului termic) față de perturbațiile în canalul de dirijare (debitul de agent frigorific). Este realizat principiul de două canale la compensarea perturbațiilor. Datorită soluției propuse se reduce intensitatea perturbațiilor asupra debitului de agent frigorific și se micșorează puterea consumată de compresorul pompei de căldură în condițiile procesului tranzitoriu.

Cuvinte-cheie: pompe de căldură, elaborarea concomitentă de căldură și de frig, sisteme de dirijare cu principiu invarianței.

Повышение эффективности системы управления тепловым насосом на диоксиде углерода с несколькими испарителями и газоохладителями

Шит М.Л., Журавлев А.А., Шит Б.М., Тимченко Д.В.

Институт Энергетики Академии наук Молдовы, Кишинев, Республика Молдова

Аннотация. Рассмотрена задача координации значений расходов хладагента через испарители и газоохладители теплового насоса для одновременного производства теплоты и холода, в которой компенсация изменения суммарного расхода через испарители реализуется, кроме изменения производительности компрессора, посредством соответствующего изменения расхода через вспомогательный газоохладитель теплового насоса. Система управления вспомогательным (вторым) газоохладителем построена с использованием принципа инвариантности выходной величины (температуры на выходе нагреваемого агента) по отношению к возмущениям по каналу управления (расходу хладагента через этот испаритель). Обеспечен принцип двухканальности при компенсации возмущающего воздействия и опережающий сигнал на входе регулирующего клапана расхода хладагента через газоохладитель. Благодаря предложенному решению снижается интенсивность возмущающих воздействий по расходу хладагента на основной испаритель пастеризационно-охладительной установки для молока. Благодаря предложенному техническому решению снижается мощность, расходующая приводом компрессора теплового насоса в переходных режимах.

Ключевые слова: тепловые насосы, одновременная выработка теплоты и холода, системы управления, инвариантность.

1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящая статья является продолжением работ авторов, посвященных задаче обеспечения устойчивой одновременной генерации теплоты и холода тепловым насосом, в котором количество выработанной теплоты и холода связаны заданным соотношением, так как это и происходит в пастеризационно-охладительных установках с тепловыми насосами. В работе рассматривается тепловой насос на диоксиде углерода в транскритическом цикле работы. В прошлых работах были предложены: схема системы компенсации возмущений, действующих на расход хладагента через испарители и газоохладители теплонасосной установки, системы автоматического регулирования теплообменника с двумя выходными параметрами - температурами воды на выходе из цепей первичного и вторичного теплоносителя, где управлениями были расход вторичного теплоносителя и площадь поверхности теплообмена. Структуры систем базируются на принципах координированного управления и управления многомерными системами. В работах [1-3], были рассмотрены многомерные системы управления нагрузок между испарителями, в которых используются оптимизационные стратегии распределения заданий между локальными системами управления испарителями. В работах [2,3] используются аналогичные алгоритмы управления. Особенностью этих работ является то, что в циклах работы этих машин используется один конденсатор. В работе [4] используются два газоохладителя, что позволяет сбалансировать тепловую и холодильную нагрузки на испаритель и газоохладитель, нагруженные на линию обработки молока.

По-видимому, наиболее близкой по тематике к данной работе является работа [4], поэтому подчеркнем различия в полученных результатах. В работе [4] был рассмотрен метод компенсации изменения расхода хладагента через испаритель для охлаждения основного продукта, который (расход хладагента) происходит под действием различных возмущений и управлений, действующих на испаритель.

В пастеризационно-охладительной установке с тепловым насосом для молока основными процессами являются пастеризация молока в газоохладителе и охлаждение в испарителе. Процессы в другом газоохладителе и испарителе являются

дополняющими процессы в основных испарителях.

Для повышения точности работы системы стабилизации температуры пастеризации путем компенсации возмущений по расходу хладагента предлагается система управления, где используется принцип компенсации возмущений (инвариантности).

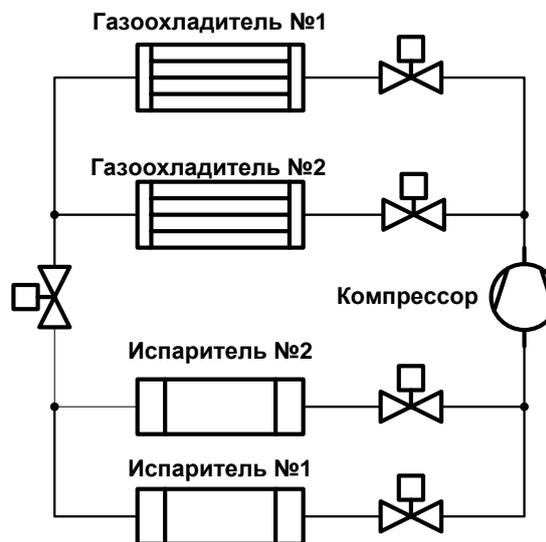


Рис.1. Упрощенная схема теплового насоса

2. Структурные схемы современных систем управления

Рассмотрим схемы САУ ТНУ, когда при случайных изменениях расхода через испаритель для охлаждения молока, необходимо изменить расход хладагента через испаритель для приготовления ледяной воды или расход хладагента через дополнительный газоохладитель.

1. Пусть расход через испаритель для охлаждения молока уменьшился на некоторую величину (при этом перегрев пара после испарителя не изменился), тогда расход хладагента через испаритель для приготовления ледяной воды должен увеличиться на такую же величину при условии неизменности производительности компрессора. Если это не сделать, то произойдет снижение расхода через газоохладитель для пастеризации молока и потребуется увеличение давления компрессора. Для максимального быстрого действия системы необходимо увеличить расход ледяной воды (при уменьшении расхода хладагента через испаритель для молока) и одновременно

увеличить задание расходу хладагента через испаритель для ледяной воды. Другим вариантом решения этой задачи может быть снижение расхода хладагента через балансирующий газоохладитель и снижение задания по расходу нагреваемого теплоносителя этим газоохладителем.

2. Для снижения расхода хладагента через газоохладитель, необходимо уменьшить задание регулятору расхода хладагента через этот газоохладитель.

3. Модель динамики испарителя

Многие системы охлаждения используют двухпозиционные законы управления для регулирования температуры. Это вызывает частые пуски и остановки системы, что влияет на динамику системы.

Использование компрессоров с регулируемой производительностью улучшает качество работы этих систем. Емкость теплообменника для охлаждения нагрузки непрерывно можно регулировать путем изменения скорости вращения компрессора, чтобы сохранить соответствие между фактической нагрузкой на систему охлаждения и расходом хладагента через испаритель.

4. Модель динамики газоохладителя

Структурная схема теплового насоса с несколькими (например, двумя газоохладителями и испарителями). Структурная схема газоохладителя ТНУ, как объекта управления, а так вид передаточных функций и численные значения их коэффициентов представлена на рис.1 [1]. На рис.1. T_{1in}, T_{2in} – температуры хладагента и нагреваемого теплового агента на входе их потоков в газоохладитель, T_{1out}, T_{2out} – температуры этих же потоков на выходах из газоохладителя, G_1, G_2 – расходы хладагента и нагреваемого агента, G_{EV} – суммарный расход газа через все испарители, W_{ij} – передаточные функции между соответствующими входами и выходами газоохладителя, как объекта управления в системе управления тепловым насосом. Для системы управления (рис.2) регулятор в контуре с обратной связью может быть выбран из класса ПИД-регуляторов с переменными коэффициентами. Величина K_{EV} (рис.2) вычисляется по формуле:

$$G_{w2} = \frac{G_{GC2} \Delta h_{GC2}}{\Delta h_w} = G_{ev} K_{EV} \quad (1)$$

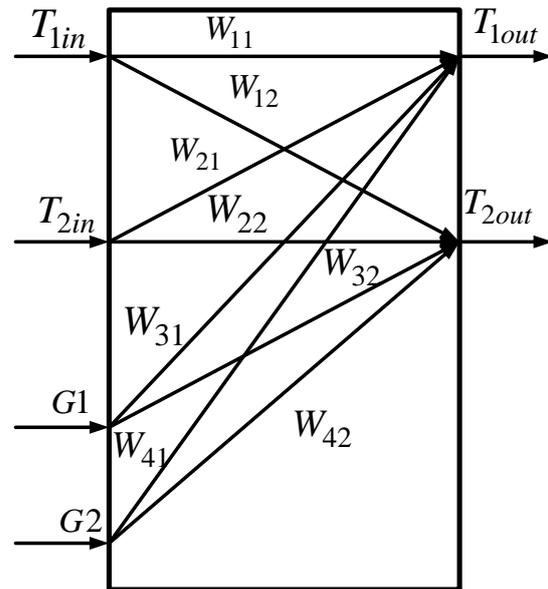


Рис. 1. Структурная схема газоохладителя теплового насоса как объекта управления

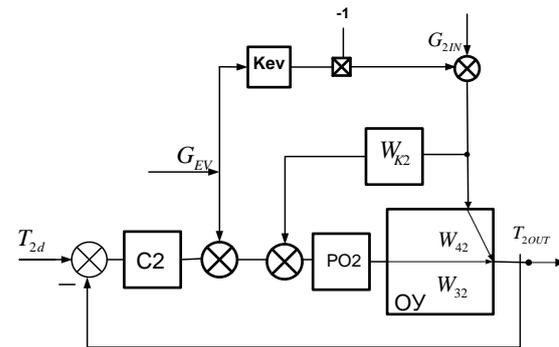


Рис.2. Структурная схема системы управления газоохладителем для нагрева воды

где величины $\Delta h_{GC2}, \Delta h_w$ – в формуле – перепад энтальпий на газоохладителе для нагрева воды на стороне хладагента и воды. Если сразу задать расход хладагента на втором газоохладителе, то возникает большое перерегулирование в канале выходной величины. При использовании предлагаемой схемы перерегулирование уменьшается практически в два раза. На рис.2 PO1 – регулирующие органы (система регулирования давления компрессора, система регулирования температуры газа перед компрессором) передаточная функция перегревателя газа, C1 – контроллер, OY – объект управления,

W_{K2} – компенсатор, PO2– регулирующий орган расхода хладагента (регулируемый привод компрессора, регулирующий вентиль). можно показать, что компенсатор является реализуемым. Компенсация запаздывания обеспечивается путем установки измерителя температуры воды перед ГО на необходимом расстоянии с учетом максимального расхода воды и введении в схему регулируемого запаздывания. На

Выводы.

1. В результате использования схемы координации расхода хладагента через второй газоохладитель с расходами через испарителя, построенной с использованием принципа инвариантности и двухканальности передачи возмущения, снижаются в два раза амплитуды переходных процессов в канале регулирования температуры воды на выходе из газоохладителя и снижается нагрузка на компрессор теплового насоса.

Литература (References)

1. Youwen You, Aiguo Wu, Shu Gang “An optimal control strategy for Multi-Evaporator Vapor Compression System”, 2010 International Conference on Electric and Control Engineering.” 410-413, <http://ieeexplore.ieee.org/document/5631946/> Accessed 22.12.2016
2. Elliott M.S., Rasmussen B.P. “Model-Based Predictive Control of a Multi-Evaporator Vapor

рис.2 PO1– регулирующие органы (система регулирования давления компрессора, система регулирования температуры газа перед компрессором) передаточная функция перегревателя газа, $\tilde{N}1$ – контроллер, ОУ– объект управления, W_{K2} – компенсатор, PO2– регулирующий орган расхода хладагента (регулируемый привод компрессора, регулирующий вентиль).

Compression Cooling Cycle”. 2008 American Control Conference. Seattle, June 11-13 2008. 1463-1468.

<http://www.nt.ntnu.no/users/skoge/prost/proceedings/acc08/data/papers/0909.pdf>

3. Rani Avinash “Control and Optimization of Vapor Compression Cycles Using Recursive Least Squares Estimation”. <http://hdl.handle.net/1969.1/ETD-TAMU-2012-08-11545>
4. Şit M.L.. Dirijarea răcitorului de gaze al pompei de căldură după criteriul de minimum al pierderilor de energie. Problemele Energeticii Regionale, 2014, 25 (2), 47-56, ISSN 1859-0070, http://journal.ie.asm.md/assets/files/01_02_25_2014.pdf
5. Burdo O.G., Şit M.L., Zikov A.V., Reznynchenco D.N., Juravleov A. A., Problemele Energeticii Regionale, 2016, 31 (2), 55-68, ISSN 1859-0070, http://journal.ie.asm.md/assets/files/07_02_31_2016.pdf

Сведения об авторах.



Şit Михаил Львович – к.т.н., в.н.с., доцент-исследователь лаборатории «Энергетической эффективности и возобновляемых источников энергии». Область научных интересов: тепловые насосы, автоматическое управление техно-логическими процессами в энергетике, E-mail: mihail_sit@mail.ru



Şit Борис Михайлович – инженер-программист Института энергетики АНМ. Область научных интересов: тепловые насосы, автоматическое управление технологическими процессами в энергетике, промышленности, сельском хозяйстве. E-mail: boris@fld.rambler.ru.



Журавлев Анатолий Александрович – кандидат технических наук, в.н.с. лаборатории «Энергетической эффективности и возобновляемых источников энергии» института энергетики АНМ. Область научных интересов: микропроцессорные системы управления, промышленная автоматика. E-mail: AZhur5249@mail.ru



Тимченко Дмитрий Викторович – ведущий инженер – программист Института энергетики АН Молдовы. Область научных интересов: автоматическое управление технологическими процессами в энергетике, программирование микропроцессоров. E-mail: dimmy@bk.ru