**Повышение эффективности генерации сжатого воздуха**

**на металлургическом предприятии**

**Improving the efficiency of generating compressed air at the metallurgical plant**

Klimenko A.V., Korjagin A.V., Agababov V.S

Ключевые слова

Совместное производство электроэнергии, тепла и сжатого воздуха, компрессор с приводной турбиной, охлаждение воздуха перед ступенями компрессора, абсорбционный термотрансформатор, уменьшение общего расхода топлива.

Joint production of electricity, heat and compressed air, a compressor driven by a turbine, cooling air towards the compressor stages, absorption thermotransformers, reducing overall fuel consumption.

Реферат

На крупных металлургических предприятиях сжатый воздух производится на ТЭЦ-ПВС – комбинированных электрических и паровоздуходувных станциях, вырабатывающих электроэнергию, тепло и сжатый воздух для нужд производства. Электроэнергия и тепло производятся на паротурбинных установках теплофикационного типа, для сжатия воздуха, как правило, применяются одноступенчатые и двухступенчатые компрессоры с паротурбинным приводом. При использовании двухступенчатых компрессоров охлаждение воздуха для снижения энергетических затрат обычно применяется только перед второй ступенью. Для этого используются теплообменники, хладоносителем в которых является вода. Понижение температуры воды после теплообменников происходит в обычных градирнях атмосферным воздухом. В первую ступень компрессора воздух поступает с температурой окружающей среды. При использовании такой системы температура охлажденного воздуха перед ступенями компрессора зависит, прежде всего, от температуры окружающей среды, что достаточно часто не даёт возможности снизить температуру воздуха перед ступенями компрессора до желаемых величин, особенно, в летнее время.

В статье приводится схема установки на комбинированной паровоздуходувной и электрической станции металлургического предприятия, в которой дополнительно используется работающий в режиме холодильной машины абсорбционный термотрансформатор (АбТТ). Для привода АбТТ используется отборный пар энергетической турбины. В предложенной схеме АбТТ предназначен для понижения температуры воздуха на входе и в первую, и во вторую ступени компрессора. Проведена оценка термодинамической эффективности вновь разработанной схемы. В качестве критерия эффективности принят общий расход топлива на ТЭЦ-ПВС при прочих неизменных показателях. Предложены зависимости для определения изменения общего расхода топлива на выработку электроэнергии, тепла и сжатого воздуха в схеме с АбТТ по сравнению с исходной схемой. Проведенная оценка показала, что использование АбТТ позволяет при снижении температуры воздуха перед ступенями компрессора на 10 ºС уменьшить суммарный расход условного топлива на 0,15 т у.т./ч.

At large-scale iron and steel enterprises compressed air is generated at [CHP](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=4176151_1_2&s1=%D2%DD%D6) ([combined heat and power plant](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=4303878_1_2&s1=%D2%DD%D6)) - [blowing house](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=2300818_1_2&s1=%E2%EE%E7%E4%F3%F5%EE%E4%F3%E2%ED%E0%FF%20%F1%F2%E0%ED%F6%E8%FF), that generates heat and compressed air to the needs of industry. Electricity and heat are generated at [steam turbine plant](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=2407690_1_2&s1=%EF%E0%F0%EE%F2%F3%F0%E1%E8%ED%ED%E0%FF%20%F3%F1%F2%E0%ED%EE%E2%EA%E0)s ([STP](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=4904121_1_2&s1=%EF%E0%F0%EE%F2%F3%F0%E1%E8%ED%ED%E0%FF%20%F3%F1%F2%E0%ED%EE%E2%EA%E0), [cogeneration unit](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=5941081_1_2&s1=%F2%E5%EF%EB%EE%F4%E8%EA%E0%F6%E8%EE%ED%ED%E0%FF%20%FD%EB%E5%EA%F2%F0%EE%F1%F2%E0%ED%F6%E8%FF)s). As a general thing a [single-stage compressor](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=523188_1_2&s1=%EE%E4%ED%EE%F1%F2%F3%EF%E5%ED%F7%E0%F2%FB%E9%20%EA%EE%EC%EF%F0%E5%F1%F1%EE%F0)s and [compounded steam turbine driven compressor](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=2312480_1_2&s1=%E4%E2%F3%F5%F1%F2%F3%EF%E5%ED%F7%E0%F2%FB%E9%20%EA%EE%EC%EF%F0%E5%F1%F1%EE%F0)s are used to compress air. If using [compounded compressor](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=2312480_1_2&s1=%E4%E2%F3%F5%F1%F2%F3%EF%E5%ED%F7%E0%F2%FB%E9%20%EA%EE%EC%EF%F0%E5%F1%F1%EE%F0)s air cooling is conducted only before the second stage to reduce energy costs/consumption. I[n order to get that done](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=6436332_1_2&s1=%E4%EB%FF%20%FD%F2%EE%E3%EE) [heat exchanger](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=5955455_1_2&s1=%F2%E5%EF%EB%EE%EE%E1%EC%E5%ED%ED%E8%EA)s are used and water is a [cooling medium](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=3526692_1_2&s1=%F5%EB%E0%E4%EE%ED%EE%F1%E8%F2%E5%EB%FC)/ [heat-transfer fluid](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=5542049_1_2&s1=%F2%E5%EF%EB%EE%ED%EE%F1%E8%F2%E5%EB%FC). Water temperature is reduced with the help of [atmospheric air](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=1398851_1_2&s1=%E0%F2%EC%EE%F1%F4%E5%F0%ED%FB%E9%20%E2%EE%E7%E4%F3%F5) after heat exchangers in cooling towers. D[ecrease of temperature](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=2319671_1_2&s1=%EF%EE%ED%E8%E6%E5%ED%E8%E5%20%F2%E5%EC%EF%E5%F0%E0%F2%F3%F0%FB) after heat exchangers is conducted in [cooling tower](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=5587351_1_2&s1=%E3%F0%E0%E4%E8%F0%ED%FF) by [atmospheric air](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=1398851_1_2&s1=%E0%F2%EC%EE%F1%F4%E5%F0%ED%FB%E9%20%E2%EE%E7%E4%F3%F5). Air of [environment temperature](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=426545_1_2&s1=%F2%E5%EC%EF%E5%F0%E0%F2%F3%F0%E0%20%EE%EA%F0%F3%E6%E0%FE%F9%E5%E9%20%F1%F0%E5%E4%FB) goes to the compressor first stage. Putting to use this system, the temperature of cooled air before compressor stages depends mainly on [environment temperature](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=426545_1_2&s1=%F2%E5%EC%EF%E5%F0%E0%F2%F3%F0%E0%20%EE%EA%F0%F3%E6%E0%FE%F9%E5%E9%20%F1%F0%E5%E4%FB) not to give an opportunity to decrease air temperature before compressor stages to required/desired values, [particularly](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=74658_1_2&s1=%EE%F1%EE%E1%E5%ED%ED%EE) in summer.

In this paper there is a power cycle at [CHP](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=4176151_1_2&s1=%D2%DD%D6) ([combined heat and power plant](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=4303878_1_2&s1=%D2%DD%D6)) - [blowing house](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=2300818_1_2&s1=%E2%EE%E7%E4%F3%F5%EE%E4%F3%E2%ED%E0%FF%20%F1%F2%E0%ED%F6%E8%FF) of iron and steel enterprise, where in addition absorption thermotransformer as [refrigerating machine](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=368374_1_2&s1=%E0%E1%F1%EE%F0%E1%F6%E8%EE%ED%ED%E0%FF%20%F5%EE%EB%EE%E4%E8%EB%FC%ED%E0%FF%20%EC%E0%F8%E8%ED%E0) has been used (AbTT). E[xtraction steam](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=5953421_1_2&s1=%EE%F2%E1%EE%F0%ED%FB%E9%20%EF%E0%F0) of power turbine is used to drive AbTT. In this power cycle AbTT is used to decrease air temperature in the inlet of the first and second compressor stages. T[hermodynamic effectiveness](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=540791_1_2&s1=%F2%E5%F0%EC%EE%E4%E8%ED%E0%EC%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF%20%FD%F4%F4%E5%EA%F2%E8%E2%ED%EE%F1%F2%FC) of the [newly developed](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=3476406_1_2&s1=%E2%ED%EE%E2%FC%20%F0%E0%E7%F0%E0%E1%EE%F2%E0%ED%ED%FB%E9%20%EC%E5%F2%EE%E4) [system has been performed.](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=5967731_1_2&s1=%EE%F6%E5%ED%EA%E0%20%FD%F4%F4%E5%EA%F2%E8%E2%ED%EE%F1%F2%E8%20%F1%E8%F1%F2%E5%EC%FB) T[otal fuel consumption](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=1649799_1_2&s1=%EE%E1%F9%E8%E9%20%F0%E0%F1%F5%EE%E4%20%F2%EE%EF%EB%E8%E2%E0) at [CHP](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=4176151_1_2&s1=%D2%DD%D6) ([combined heat and power plant](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=4303878_1_2&s1=%D2%DD%D6)) - [blowing house](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=2300818_1_2&s1=%E2%EE%E7%E4%F3%F5%EE%E4%F3%E2%ED%E0%FF%20%F1%F2%E0%ED%F6%E8%FF) has been taken as a [performance criterion](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=491247_1_2&s1=%EA%F0%E8%F2%E5%F0%E8%E9%20%FD%F4%F4%E5%EA%F2%E8%E2%ED%EE%F1%F2%E8) [with all else being equal](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=7177219_1_2&s1=%EF%F0%E8%20%EF%F0%EE%F7%E8%F5%20%F0%E0%E2%ED%FB%F5). [Functional connections to determine the change of total fuel consumption](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=368374_1_2&s1=%E0%E1%F1%EE%F0%E1%F6%E8%EE%ED%ED%E0%FF%20%F5%EE%EB%EE%E4%E8%EB%FC%ED%E0%FF%20%EC%E0%F8%E8%ED%E0) for power, heat generation and compressed air with AbTT in compare with the original one are presented. This estimation has presented that the use of AbTT gives the possibility to reduce air temperature before compressor stages by 10oC and total overall fuel consumption in terms of reference fuel by 0.15 ton of reference fuel/h.

Подрисуночная надпись

1– энергетическая турбина; 2–подогреватели системы регенерации; 3–АбТТ; 4, 5– теплообменники - охладители воздуха перед первой и второй ступенями компрессора; 6, 7–первая и вторая ступени компрессора; 8 – приводная турбина

Рисунок – Схема установки с двухступенчатым охлаждением воздуха

в компрессоре с применением АбТТ

1- power turbine; 2- cycle heaters/extraction heaters; 3- AbTT- absorption thermotransformer; 4, 5 - [heat exchanger](https://www.multitran.ru/c/m.exe?t=5955455_1_2&s1=%F2%E5%EF%EB%EE%EE%E1%EC%E5%ED%ED%E8%EA)s – air-cooler before the first and second compressor stages; 6, 7 - the first and second compressor stages; 8 - driven turbine

Fig. Power cycle of two-step air cooling in compressor with the use of AbTT