

Исследование системы автоматического регулирования собственной частоты резонаторов в условиях эксплуатации на ЛУ ММФ

А.С.Ковалишин, Ю.В.Киселев, В.Н.Фокин
Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия

Система авторегулирования собственной частоты резонаторов на линейном ускорителе Московской мезонной фабрики (ЛУ ММФ) основана на использовании теплового метода регулирования, который удовлетворяет требованиям эксплуатации ускорителя. В настоящее время ЛУ ММФ в основном эксплуатируется с частотой повторения высокочастотных (ВЧ) импульсов 50 Гц. При переходе ускорителя в проектный режим с частотой повторения 100 Гц или при расширении ВЧ-импульса в стенках резонаторов возникает дополнительный температурный градиент, накладывающий дополнительные требования на диапазон регулирования систем стабилизации собственной частоты резонаторов за счет изменения температуры охлаждающей воды (АРЧ-Т). Отметим, что перепад температуры охлаждающей резонаторы воды до ввода ВЧ-мощности и при введенном номинальном уровне ВЧ-мощности составляет $\Delta t ж \approx (2 \div 4)^\circ\text{C}$ [1].

Упрощенную гидравлическую схему терморегулирующей установки, которая представлена на рис.1, можно описать следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} T_p(G_3)\frac{dt_p}{d\tau} + t_p &= \theta\frac{P_{\sim}}{G_3} + t'_H; \\ t'_H &= t_H(\tau - \tau_3); \\ T_H(G_3)\frac{dt_H}{d\tau} + t_H &= \gamma\frac{P_H}{G_3} + t_0; \\ t_0 &= \frac{G_1}{G_0}t_1 + \frac{G_2}{G_0}t_2; \quad t_2 = t'_2(\tau - \tau_3); \quad t'_2 = \frac{G_4}{G_0}t_0 + \frac{G_3}{G_0}t_p; \\ T_{T0}(G_1)\frac{dt_1}{d\tau} + t_1 &= \frac{G_1 - \frac{\beta}{2}G_T}{G_1 + \frac{\beta}{2}G_T}t_2 + \frac{\beta G_T}{G_1 + \frac{\beta}{2}G_T}t_T, \end{aligned}$$

где T_p , T_H , T_{T0} — постоянные времени резонатора, электронагревателя, теплообменника; G_1 — соответствующие расходы; θ , γ , β — коэффициенты пропорциональности; t_p , t_H , t_0 , t_1 , t_2 — соответствующая температура воды; τ_3 — временная задержка; τ — время; P_H , P_{\sim} — мощность электронагревателя и средняя ВЧ-мощность.

В установившемся режиме температура резонатора определяется из следующего соотношения:

$$t_p = \gamma P_H \left(\frac{1}{\beta G_T} + \frac{1}{2G_1} + \frac{1}{G_3} - \frac{1}{G_o} \right) + \theta P_{\sim} \left(\frac{1}{\beta G_T} + \frac{1}{2G_1} + \frac{1}{G_3} - \frac{1}{G_o} \right) + t_T.$$

Перед вводом ВЧ-мощности резонаторы необходимо прогреть до температуры, соответствующей резонаторной частоте [1]. Зависимость температуры резонатора от расходов G_1 и G_3 , которые определяются положением вентилей В1 и В2, приведена в табл.1.

Таблица 1:

№ п/п	G_1	G_3	t_p
1	G_0	G_0	$\gamma P_{эH}(1/[\beta G_T] + 1/[2G_0]) + t_T$
2	$G_0/2$	G_0	$\gamma P_{эH}(1/[\beta G_T] + 1/[2G_0]) + t_T$
3	G_0	$G_0/2$	$\gamma P_{эH}(1/[\beta G_T] + 1.5/[G_0]) + t_T$
4	$G_0/2$	$G_0/2$	$\gamma P_{эH}(1/[\beta G_T] + 2/[G_0]) + t_T$

Из таблицы следует, что наиболее благоприятный режим прогрева соответствует четвертому варианту, а режим охлаждения — первому. Ввиду того, что качество технической воды (ГТ) плохое, приходится довольно часто чистить фильтры и перестраивать ТРУ, подбирая соответствующие положения вентилях В1 и В2, так как изменением мощности $P_{эH}$ и расхода технической воды ГТ не удастся попасть в необходимый диапазон изменения температуры.

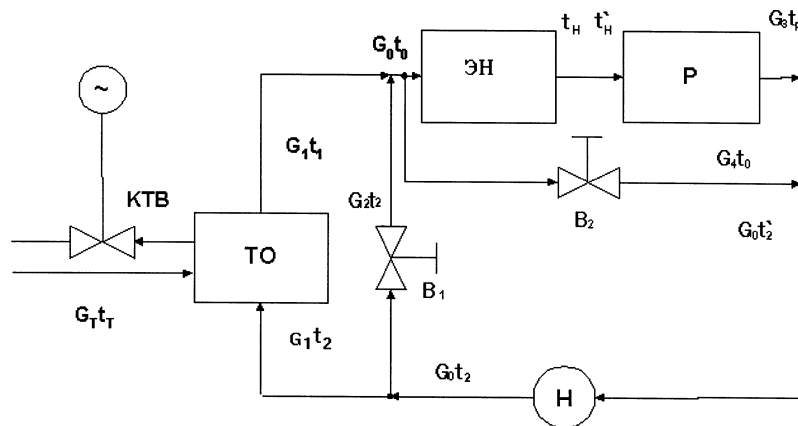


Рис. 1: Гидравлическая схема терморегулирующей установки (ТРУ). ТО — теплообменник; ЭН — электронагреватель; Р — резонатор; КТВ — клапан технической воды; B_1 , B_2 — вентили; Н — насос; G_i , t_i — соответствующие расходы и температуры воды.

Для того чтобы избежать описанных выше неудобств, предлагается использовать смешительный клапан в контуре дистиллированной воды (рис.2). При таком варианте исключается клапан технической воды. В режиме прогрева полностью исключается теплообменник, а охлаждение будет более эффективным (вариант 1 в табл.1). Система стабилизации резонансной частоты при таком варианте управления представлена на рис.3.

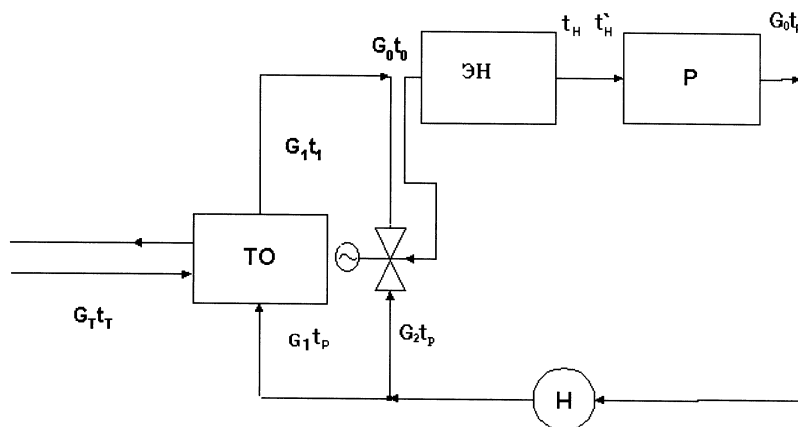


Рис. 2: Гидравлическая схема модернизированной терморегулирующей установки. ТО — теплообменник; ЭН — электронагреватель; Р — резонатор; Н — насос; G_i , t_i — соответствующие расходы и температуры воды.

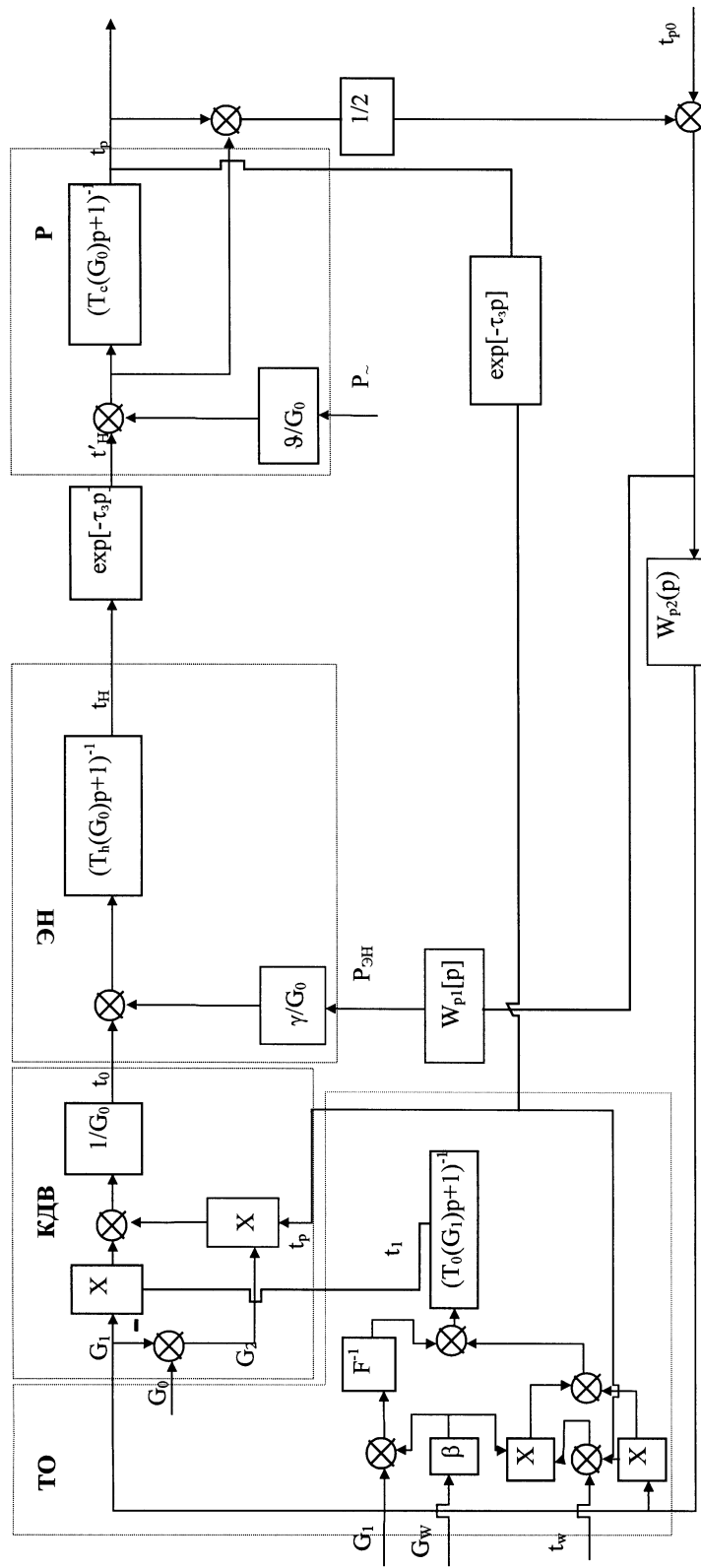


Рис. 3: Система авторегулирования собственной частоты с использованием смесительного клапана. T_i — постоянные времени; τ_3 — временные задержки; $W_p(p)$ — регуляторы; β, γ, χ — коэффициенты; t_i — температуры; $P_{ЭН}, P_{\sim}$ — мощности электронагревателя и ВЧ; G_i — расходы воды; $p = d/dt$.

Список литературы

- [1] А.С.Ковалишин, В.Н.Фокин. Результаты испытания систем авторегулирования собственной частоты резонаторов ЛУ ММФ на частоте повторения ВЧ-импульсов 100 Гц.//Вопросы атомной науки и техники. 1997, Выпуск 4.5(31,32). Харьков, 1997, с.85.