

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

ВСЕСОЮЗНЫЙ ЗАОЧНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Л. А. АГАСЯН

**ХАРАКТЕРИСТИКИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ
СПГГ И ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ И РЕГУЛИРОВАНИЕ
КОМБИНИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Автореферат

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент Б. М. ЧЕРНОМОРДИК.

МОСКВА—1966 г.

Николаевский кораблестроительный институт им. Макарова

Направляем Вам для ознакомления автореферат диссертационной работы Л. А. Агасяна на тему: „Характеристики совместной работы СПГГ и газовой турбины и регулирование комбинированной установки для электростанции“, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук. Просим принять участие в работе Совета института или прислать свои отзывы в двух экземплярах по адресу:

г. Москва, И-238, ул. Павла Корчагина, 22, ВЗПИ.

Защита диссертации состоится в _____

6 июня

1967 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь совета СВИРИДЕНКО Г. Г.

25 февраля 1967 г.

Работа выполнена в отделе стационарных и передвижных электроагрегатов Всесоюзного научно-исследовательского института комплексного электрооборудования (ВНИИКЭ).

Газотурбинные установки со свободнопоршневыми генераторами газа (СПГГ-ГТ) сочетают в себе преимущества дизельных и обычных газотурбинных установок. Эти установки по весогабаритным показателям находятся на уровне обычных газотурбинных установок, а по экономическим показателям — на уровне дизельных установок.

В настоящее время установки СПГГ-ГТ используются в различных отраслях техники.

В СССР созданием СПГГ-ГТ, предназначенных для различных целей, занимается ряд научно-исследовательских и промышленных организаций. В основу этих исследований были положены работы В. К. Кошкина, С. И. Погодина, В. М. Колюко, Ф. М. Елистратова и др.

В настоящее время Всесоюзный научно-исследовательский институт комплексного электрооборудования (ВНИИКЭ) в котором выполнена настоящая работа, занят разработкой газотурбинного электроагрегата со свободнопоршневыми генераторами газа. К таким электроагрегатам предъявляются следующие требования: малые весовые и габаритный показатели, широкий диапазон экономичного регулирования мощности и высокая приемистость.

Ввиду того, что новым и еще недостаточно изученным агрегатом в установке СПГГ-ГТ является СПГГ, указанные выше требования могут быть удовлетворены на основе всестороннего исследования работы генератора газа. Эти исследования должны быть направлены на отыскание возможных путей увеличения литровой и габаритной мощности СПГГ и расширения диапазона экономичного регулирования его мощности. Кроме того для обеспечения высокой приемистости необходимо исследовать переходные процессы электроагрегата с целью отыскания возможных путей уменьшения времени переходных процессов. В связи с вышеизложенными в настоящей работе были поставлены следующие задачи;

1. Изучение поля режимов СПГГ для установления возможных границ изменения его параметров.

2. Исследование совместных режимов СПГГ и газовой турбины при различных способах внутреннего регулиро-

вания СПГГ, в частности при переменном ходе поршней ($S=var$) и со стабильной наружной мертвой точкой поршней ($S_n=idem$).

3. Выбор системы внутреннего регулирования СПГГ, позволяющей увеличить литровую мощность СПГГ и обеспечить широкий диапазон изменения мощности установки.

4. Установление функциональной зависимости приемистости СПГГ от способа регулирования и габаритных размеров генератора газа.

5. Исследование переходных процессов электроагрегата в зависимости от приемистости СПГГ и рекомендаций путей улучшения приемистости электроагрегата.

Работа состоит из введения и четырех глав.

В I главе приводится краткий обзор существующих методов расчета переменных режимов СПГГ-ГТ, способов внутреннего регулирования СПГГ и исследований переходных процессов электроагрегатов с СПГГ.

Во второй главе дается аналитическое исследование поля режимов СПГГ. Данный вопрос представляет большой интерес, так как позволяет раскрыть внутренние возможности СПГГ по всем параметрам и установить пределы их изменения по режимам. Принятый нами метод исследования поля режимов приводится ниже.

Устанавливаются пределы изменения внутренней мертвой точки (ВМТ) и наружной мертвой точки (НМТ) в функции давления газа (P_g), характеризующего режим работы СПГГ. Для получения максимальных величин параметров СПГГ в функции P_g необходимо НМТ изменять по максимальным позициям, а ВМТ — по минимальным. Минимальные величины параметров, естественно, получаются при изменении НМТ по минимальным позициям, а ВМТ — по максимальным. Строятся также промежуточные функциональные зависимости параметров при промежуточных значениях НМТ и ВМТ, необходимые для построения характеристик совместных режимов СПГГ и ГТ.

В работе выведены упрощенные формулы для определения относительных потерь давления в переменных режимах работы СПГГ из предположения, что величины сум-

марных сил, действующих на поршень в мертвых точках, пропорциональны давлению газа (с последующей проверкой).

Относительные потери давления в нагнетательных клапанах ($\overline{\Delta P_{нк}}$)

$$\overline{\Delta P_{нк}} = \overline{S} \overline{\eta_0} \overline{\tau_k}; \quad (1)$$

Относительные потери давления в продувочном ресивере ($\overline{\Delta P_s}$)

$$\overline{\Delta P_s} = \overline{\eta_0} \overline{S} \overline{\tau_k} \frac{m_1 - 1}{m_1}; \quad (2)$$

Относительные потери давления в продувочных окнах ($\overline{\Delta P_n}$)

$$\overline{\Delta P_n} = \overline{S}^2 \overline{\eta_0}^2 \overline{\tau_k} \frac{m_1 - 1}{m_1} \left[\frac{(S_{H_0} - S_n)^{3/2} - (S_{H_0} - S'_n)^{3/2}}{(S_n - S_n)^{3/2} - (S_n - S'_n)^{3/2}} \right]^2, \quad (3)$$

Относительные потери давления в выхлопных окнах ($\overline{\Delta P_v}$)

$$\overline{\Delta P_v} = \overline{S}^2 \overline{\eta_0}^2 \overline{\tau_k} \frac{m_1 - 1}{m_1} \left[\frac{(S_{H_0} - S_v)^{3/2} - (S_{H_0} - S'_v)^{3/2}}{(S_n - S_v)^{3/2} - (S_n - S'_v)^{3/2}} \right]^2, \quad (4)$$

где*

S — ход одной поршневой группы;

η_0 — коэффициент наполнения компрессоров;

S_n, S'_n, S_v — расстояния НМТ, внутренней кромки продувочных и выхлопных окон от центра машины;

S_n, S'_v — расстояния наружной кромки продувочных и выхлопных окон от центра машины;

S_{H_0} — расстояние НМТ от центра при номинальном режиме;

m_1 — показатель политропного процесса сжатия в компрессоре.

Имея значения потерь давления на номинальном режиме и определив относительные потери на переменных режимах по формулам (1) ÷ (4), устанавливается зависимость

* Ниже относительные величины параметров обозначены черточкой ($\overline{S}, \overline{\eta_0}, \overline{\tau_k}$, и т. д.).

Индексами „max“ и „min“ обозначены экстремальные значения параметров.

давления газа (P_r) от степени повышения давления в компрессоре, т. е.

$$P_r = \tau_k P_{ак} - \Sigma \Delta P_r,$$

где

$P_{ак}$ — давление в начале сжатия в компрессоре,

$\Sigma \Delta P_r$ — суммарные потери давления в СПГГ.

Дальнейший расчет ведется по известным методикам. Анализ результатов расчета поля режимов позволил установить пределы изменения всех параметров, упростить методику расчета характеристик СПГГ-ГТ при регулировании СПГГ с $S = var$, осуществить работу СПГГ со стабильной НМТ программным регулированием характерных параметров СПГГ, спроектировать профиль кулачка ограничения подачи топлива, построить поле секундного расхода газа для определения приемистости СПГГ.

В третьей главе содержится анализ работы СПГГ по внешней характеристике и его внутреннее регулирование со стабильной наружной мертвой точкой (НМТ).

Расчет характеристик совместных режимов СПГГ и ГТ в функции давления газа можно разделить на три этапа:

1. Определение потерь давления в СПГГ,
2. Установление совместных режимов СПГГ и ГТ,
3. Определение мощности и экономичности СПГГ.

Определение потерь давления в СПГГ производится по упрощенным формулам (1) ÷ (4).

Для обеспечения совместной работы СПГГ и ГТ соотношение параметров вырабатываемого газа СПГГ должно на всех режимах удовлетворять условию

$$K_s = \frac{G_r \sqrt{T_r}}{P_r} = idem. \quad (5)$$

Анализ поля режимов показал, что соотношение (5) может быть получено, если ВМТ и НМТ изменять по линейному закону в зависимости от давления газа, т. е.

$$S_c = \frac{S_c^{max} - S_c^{min}}{P_r^{max} - P_r^{min}} (P_r - P_r^{max}) + S_c^{max}, \quad (6)$$

$$S_n = \frac{S_n^{max} - S_n^{min}}{P_r^{max} - P_r^{min}} (P_r - P_r^{max}) + S_n^{max}, \quad (7)$$

где

S_c — расстояние ВМТ от центра машины.

Определение мощности и экономичности СПГГ производится по известным соотношениям.

Изложенные упрощения позволяют избежать трудоемких исследовательских приближений как при определении потерь давления, так и при установлении совместных режимов СПГГ и ГТ.

Для построения характеристик совместных режимов СПГГ-ГТ при внутреннем регулировании СПГГ с $S_n = idem$, на основе совместного решения уравнения энергетических балансов СПГГ с уравнением Стодоллы получены следующие зависимости характерных параметров СПГГ в функции давления газа, определяющие режим его работы:

Подача топлива за цикл (g_r)

$$g_r = g_{гн} \frac{Y - \sqrt{Y^2 - 4XY}}{2X}, \quad (8)$$

где

$$X = \left(\frac{1-\theta}{2\theta S} \right)^2 - \left[\frac{1-\theta}{2\theta S} + \frac{1}{\gamma_{01}} \cdot \frac{P_{ик0}}{P_{ак}} \cdot \frac{\frac{1}{m_2} - 1}{B_k - A_k} \cdot \frac{\bar{\tau}_{ii}}{S} \right]^2,$$

$$Y = \frac{2}{\gamma_{01}} \left[1 - \frac{A_k(\tau_k - 1)}{B_k - A_k} \right] \left[\frac{1-\theta}{2\theta S} + \frac{P_{ик0}(\tau_k - 1)}{\gamma_{01} P_{ак}(B_k - A_k)} \cdot \frac{\bar{\tau}_{ii}}{S} \right],$$

$$Z = \frac{\bar{\tau}_k}{\theta S} - \left[\frac{1}{\gamma_{01}} \frac{A_k(\tau_k - 1)}{(B_k - A_k)\gamma_{01}} \right]^2, \quad \theta = \frac{T_0}{T_{гн}},$$

$g_{гн}$, γ_{01} , $P_{ик0}$ — подача топлива за цикл, коэффициент наполнения компрессоров, среднее индикаторное давление компрессора за цикл на номинальном режиме;

A_k, B_k — коэффициенты работы сжатия и расширения в компрессоре СПГГ;

m_2 — показатель политропы расширения в компрессоре;

η_i — индикаторный КПД СПГГ;

T_0 — температура окружающей среды;

$T_{гн}$ — температура газа на выходе из СПГГ на номинальном режиме.

Среднее давление в буфере (P_6)

$$P_6 = \frac{F_d}{F_6} (P_{ид} - P_r^{ox}) + \frac{F_k}{F_6} P_{ик}^{ox} \quad (9)$$

где F_d, F_k, F_6 — площади поршней двигателя, компрессора и буфера,

$P_{ид}$ — среднее индикаторное давление в цилиндре двигателя,

$P_{ик}^{ox}$ — среднее индикаторное давление в компрессоре за обратный ход,

P_r^{ox} — потери давления на трение при обратном ходе поршней.

Количество перепускаемого воздуха из продувочного ресивера в компрессоры (G_n)

$$G_n = F_k \gamma_{ak} S \frac{n}{30} \left\{ 1 - a_{кр} \left(\tau_k - 1 \right) - \eta_{oi} \left[\frac{1 - \theta}{2\theta S} \frac{1}{g_r} + \sqrt{\left(\frac{1 - \theta}{2\theta S} \right)^2 \frac{1}{g_r^2} + \frac{\tau_k}{\theta S}} \right] \right\} \quad (10)$$

где γ_{ak} — удельный вес воздуха в начале сжатия в компрессоре,

n — число циклов в минуту,

$a_{кр}$ — располагаемая относительная величина мертвого пространства компрессора.

Изменение характерных параметров g_r, P_6 и G_n в функции давления газа по зависимостям (8), (9) и (10) обеспечивает стабильное положение НМТ ($S_n = idem$), изменение ВМТ по определенному закону и условие совместных режимов СПГГ и ГТ (5).

По упрощенным методикам расчета подсчитаны и построены характеристики совместных режимов СПГГ—520 с газовой турбиной при $S = var$ и $S_n = idem$. Сопоставление результатов теоретических расчетов с результатами экспериментальных данных СПГГ—520 ВНИИКЭ показали вполне удовлетворительную сходимость.

В диссертации приводится также упрощенная система внутреннего регулирования СПГГ со стабильной НМТ ($S_n = idem$).

Практическое осуществление указанных зависимостей обеспечивается системой внутреннего регулирования СПГГ. Изменение подачи топлива за цикл (g_r) и среднего давления буферов (P_6) осуществляется соответственно топливным насосом и стабилизатором. Изменение количества перепускаемого воздуха (G_n) из ресивера в компрессорные полости, по полученной закономерности, осуществляется механизмом, принцип работы которого заключается в следующем. При помощи труб механизм соединяется с мертвыми объемами компрессоров и продувочным ресивером. Золотник механизма с одной стороны находится под давлением воздуха продувочного ресивера, а с другой стороны под действием пружины.

При номинальном режиме СПГГ, золотник под действием давления воздуха в продувочном ресивере поднимается в крайнее верхнее положение, вследствие чего мертвые объемы компрессоров и продувочный ресивер разобщаются. При переходе СПГГ на частичные нагрузки золотник механизма под действием пружины перемещается на определенную величину (в функции давления газа), соединяя через открытую часть окон (на корпусе механизма) компрессорные полости сначала с продувочным ресивером, а при достижении холостого режима СПГГ с атмосферой.

Величины открытия окон регулируются таким образом, чтобы перепуском части воздуха из ресивера в компрессоры обеспечить изменение расхода газа СПГГ по расходной характеристике турбины. Предложенная система изготовлена и испытана совместно с коллективом лаборатории отд. СПЭ ВНИИКЭ и в настоящее время работает на стендовом СПГГ-520. Результаты испытания показали что указанная система обеспечивает изменение расхода газа по расход-

ной характеристике турбины и стабильную НМТ на всех режимах работы СПГГ.

Указанная система внутреннего регулирования имеет следующие преимущества; малые весовые и габаритные показатели, обеспечивает экономичное регулирование мощности агрегата в широком диапазоне, разгружает механизм синхронизации от неравенства давления в компрессорных полостях и обладает малой инерционностью.

Четвертая глава посвящена регулированию числа оборотов газотурбогенератора со свободнопоршневым генератором газа.

Схематизируя рабочий процесс СПГГ, можно представить его как нагнетание газовой смеси в постоянный объем $-V$. Без объема V (если предположить, что инерционность системы внутреннего регулирования пренебрежимо мала) СПГГ практически малоинерционен. Это вытекает из принципа его работы, т. к. в нем нет вращающихся частей и, следовательно, сопротивляющихся изменению скорости движения поршней маховых моментов. Поэтому процесс подъема давления (выход на режим) обуславливается наличием объема V за СПГГ. На основании этого в работе выводится зависимость времени перехода СПГГ (T_{cr}) с холостого режима на номинальный от давления газа в виде:

$$T_{cr} = \frac{\gamma_0 V}{p_1 P_{r0}} \cdot \frac{P_r - P_{r0}}{G_k - G_r} \quad \text{при } S_n = idem, \quad (11)$$

$$T_{cr} = - \frac{\gamma_0 V}{p_1 P_{r0}} \cdot \frac{1}{b_0} \ln \frac{a_0 - b_0 P_r}{a_0 - b_0 P_{r0}} \quad \text{при } S = var, \quad (12)$$

где γ_0 , P_{r0} — удельный вес и давление газа при работе СПГГ на номинальном режиме,

p_1 — показатель политропы изменения состояния газа,

G_k — секундная производительность компрессоров СПГГ,

G_r — секундный расход газа через турбину,

a_0 , b_0 — постоянные коэффициенты для рассматриваемого СПГГ,

V — суммарный объем продувочного ресивера, газосборника и газопроводов.

Как видно из формул (11) и (12), время подъема давления, т. е. приемистость СПГГ, зависит от величины $(G_k - G_r)$ и объема V . Минимальная величина объема V выбирается из условий допустимых колебаний давления в газовой системе, а величина $(G_k - G_r)$ зависит от способа внутреннего регулирования СПГГ. [В формулу (12) величина $(G_k - G_r)$ входит в неявном виде].

По формулам (11) и (12) подсчитаны численные значения времени подъема давления газа от 2 ата (соответствующее холостому режиму электроагрегата) до номинального значения ($P_r = 4,15$ ата), которые составляют: для $S_n = idem$, 4 сек, а для $S_n = var$ — 2 сек.

Построение зависимостей времени выхода на режим в функции давления газа по соотношениям (11) и (12) показывает, что с достаточной точностью эти зависимости можно аппроксимировать прямыми линиями, т. е.

$$\frac{P_r - P_{r1}}{P_{r0} - P_{r1}} = \frac{t}{T_{cr}},$$

где P_{r1} — давления газа на холостом режиме работы электроагрегата.

Учитывая, что зависимость адиабатной мощности СПГГ (N_r) от давления газа практически прямолинейна, последнему уравнению можно придать вид

$$N_r = \frac{N_{rn} - N_{r1}}{T_{cr}} \cdot t + N_{r1}, \quad (13)$$

где N_{rn} , N_{r1} — адиабатная мощность СПГГ на номинальном и холостом режиме электроагрегата.

Эта зависимость используется для составления дифференциального уравнения электроагрегата в целом.

Переходные процессы электроагрегата исследованы графоаналитическим методом. Для этого составлено, по известным способам, уравнение вращения ротора турбогенератора, которое после ряда преобразований приведено к виду

$$I \frac{d\omega}{dt} = \frac{102}{\omega_0} \eta_{tr} \frac{\partial N_r}{\partial t} \cdot t - \frac{102}{\omega_0} \cdot \Delta N_{\text{эгр}},$$

где I — момент инерции ротора турбогенератора,

ω — угловая скорость ротора,

η_{tr} — к. п. д. турбины,

$N_{\text{эгр}}$ — мощность электрогенератора,

ω_0 — номинальная величина угловой скорости.

Определив значения $\frac{\partial N_r}{\partial t}$ из выражения (13) и подставив в последнее уравнение, получим

$$T_a \frac{d\phi}{dt} = \phi - \lambda, \quad (14)$$

где $\phi = \frac{\Delta\omega}{\omega_0}$ — относительное приращение угловой скорости ротора турбогенератора,

$T_a = \frac{I\omega_0^2}{102N_{\text{ти}}}$ — постоянная времени турбины,

$\phi = \frac{1}{T_{cr}} \cdot t$ — относительная величина, характеризующая мощность турбины,

$\lambda = \frac{\Delta N_{\text{эгр}}}{N_{\text{эгн}}}$ — относительное приращение нагрузки электрогенератора,

$N_{\text{эгн}}, N_{\text{ти}}$ — мощности электрогенератора и турбины на номинальном режиме.

Ввиду малой инерционности системы регулирования чисел оборотов электроагрегата, по сравнению с инерционностью СПГГ и газотурбогенератора, изменения знака импульса регулятора скорости по оборотам в переходных процессах учтена согласно статической характеристике регу-

лирования числа оборотов [$\varphi = \varphi(N_{\text{эгр}})$]. Интегрируя уравнение (14), получим зависимость $\varphi = \varphi(t)$ в виде

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{1}{2T_a T_{cr}} \cdot t^2 - \frac{\lambda}{T_a} t, \quad (15)$$

где $\varphi_0 = 0,015$ — значение φ при холостом ходе агрегата.

Анализ результатов, полученных по формуле (15) показал, что время переходного процесса электроагрегата от холостого режима до номинального равно 15 сек.

При сбросе 100%-ой нагрузки электроагрегата, как показал расчет, максимальное увеличение числа оборотов достигает 24% номинального, что недопустимо с точки зрения технического требования ($\varphi^{\text{max}} \leq 0,06$) и устойчивой работы электроагрегата (при достижении 10%-го числа оборотов система защиты останавливает электроагрегат).

Анализ показал, что если в систему регулирования электроагрегата ввести новый элемент — клапан сброса, то время переходного процесса при набросах нагрузки можно сократить до 10,6 сек, а максимальное отклонение числа оборотов при 100%-ой сбросе нагрузки уменьшится до 8,7% от номинального. Для дальнейшего уменьшения времени переходного процесса и отклонения числа оборотов при полном сбросе нагрузки предложено в данном агрегате использовать дополнительный импульс по нагрузке. В диссертации приводится принципиальная схема управления электроагрегатом с использованием дополнительного импульса по нагрузке. Принцип работы этой системы сводится к следующему.

При полном сбросе нагрузки регулятор по нагрузке замыканием электрического контактора приводит в действие распределительный золотник, который мгновенно разгружает чувствительные элементы сервомотора подачи топлива и клапана сброса. Вследствие этого подача топлива уменьшается до минимальной величины, а клапан сброса открывает выход газа в атмосферу. При этом устойчивость работы СПГГ обеспечивается надлежащим профилированием дросселирующего устройства и скорости открытия клапана сброса.

Во избежание слишком большого падения числа оборо-

тов, указанный выше контактор управляемым давлением газов перед турбиной размыкается при снижении давления газа до заданной величины. При этом регулировочное давление от регулятора скорости снова воздействует на чувствительные элементы сервомотора подачи топлива и клапана сброса. Последний открывает подвод газа к турбине, и ее скорость стабилизируется практически без колебания.

Указанный сбросной клапан спроектирован коллективом отдела конструкторского бюро ВНИИКЭ с участием автора и в настоящее время находится в стадии предварительных испытаний¹.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В работе предложены упрощенные методы определения гидродинамических потерь давления в СПГГ и расчета совместных режимов СПГГ и газовой турбины (ГТ). Это позволило создать инженерный метод расчета характеристик СПГГ-ГТ при внутреннем регулировании СПГГ с $S = \text{var}$ и $S_n = \text{idem}$.
2. На основе теоретического анализа совместных режимов СПГГ и ГТ предложена система внутреннего регулирования СПГГ. Эта система в сочетании с некоторыми конструктивными изменениями СПГГ (не увеличивающими его вес и габариты) позволяет повысить литровую мощность двигателя СПГГ.
3. Выведено уравнение приемистости СПГГ, которое, совместно с уравнением турбогенератора и статической характеристикой регулирования числа оборотов турбины, позволило исследовать переходные процессы при сбросах и набросах нагрузки электроагрегата и рекомендовать этот метод для исследования переходных процессов подобных систем.
4. Исследование переходных процессов электроагрегата показало, что с переводом СПГГ на работу с $S = \text{var}$ на $S_n = \text{idem}$ приемистость установки ухудшается.

¹ Исследование переходных процессов выполнено при консультации проф. С. А. Кантора, с участием инж. Б. Е. Авакяна.

Для устранения этого недостатка в систему регулирования числа оборотов предложено ввести клапан сброса, управляемый импульсом от числа оборотов и дополнительным импульсом по нагрузке.

5. Проведенные экспериментальные исследования на стенде СПГГ-520 ВНИИКЭ подтвердили справедливость предложенных методов построения характеристик СПГГ-ГТ (при $s = \text{var}$ и $S_n = \text{idem}$), а также доказали работоспособность предлагаемой системы внутреннего регулирования СПГГ с $S_n = \text{idem}$.
6. Теоретические и экспериментальные исследования позволили рекомендовать СПГГ с $S_n = \text{idem}$ с предложенной системой внутреннего регулирования для проектируемого электроагрегата, обеспечив при этом требуемые весовые и габаритные показатели, широкий диапазон регулирования мощности и высокую приемистость.

По теме диссертации опубликованы следующие статьи:

Газотурбинные установки с СПГГ — „Промышленность Армении“, № 3, 1961 г.

К вопросу о регулировании комбинированных газотурбинных установок с СПГГ — „Труды ВНИИЭМ“, том. 12, 1962 г.

Метод расчета основных характеристик и конструктивных размеров СПГГ — там же.

Повышение экономичности комбинированных газотурбинных установок методом применения эжекционной системы охлаждения — там же.

Некоторые вопросы внутренней регулировки свободнопоршневых двигателей — „Известия“ Академии наук Армянской ССР, № 5, 1963 г.

Регулирование газотурбинной электростанции со свободнопоршневым генератором газа, „Известия“ Академии наук Армянской ССР, № 5, 1964 г.

Некоторые вопросы расчета и регулирования газотурбинной электростанции со свободнопоршневыми генераторами газа — „Труды научно-технической конференции АФВНИИЭМ“, вып. 1., 1965 г.