

М130419

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

ДЕЙКУН В. К.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВЫХ РЕДУКТОРОВ
ДЛЯ ГАЗОПЛАМЕННОЙ ОБРАБОТКИ**

(05.167 — Машины и технология сварочного производства)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском и конструкторском институте автогенного машиностроения ВНИИАВТОГЕНМАШе.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Романенко Н. Т.,

кандидат технических наук, доцент Глизманенко Д. Л.

Ведущее предприятие — Барнаульский аппаратурно-механический завод.

Автореферат разослан «...» 1971 г.

Защита диссертации

на заседании Совет
МВТУ им. Баумана

Ваши отзывы
направлять по адресу

С диссертацией
им. Баумана.

У

М 130

ВВЕДЕНИЕ

М/30410

Качество, производительность, экономичность газовой сварки, пайки, наплавки, кислородной резки и других процессов газопламенной обработки в значительной степени зависят от качества работы газовых редукторов, их технических рабочих характеристик. Вместе с тем выпускавшиеся до настоящего времени промышленностью газовые редукторы не обеспечивали качественное и экономичное ведение процессов газопламенной обработки, недолговечны, имели характеристики, плохо согласующиеся с требованиями технологии отдельных процессов газопламенной обработки и условиями их газоснабжения. Это привело к необходимости коренной смены выпускавшихся до настоящего времени редукторов новыми более совершенными моделями, увеличения номенклатуры серийно выпускаемых редукторов и уточнения их типов и параметров. Решение этой задачи на базе существовавшей до настоящего времени полумпирической методики расчета и конструирования газовых редукторов в короткие сроки и на достаточно качественном уровне не представлялось возможным. Рациональный выбор и обоснование основных типов и параметров создаваемого ряда редукторов требовали четкого знания качественной и количественной связи рабочих характеристик газовых редукторов с их конструктивными и эксплуатационными параметрами.

Отсутствие в этой области достаточно полных и проверенных на практике данных потребовали постановки настоящей работы, основной задачей которой явилось определение аналитической связи рабочих характеристик газовых редукторов с их конструктивными параметрами и режимом работы, экспериментальная проверка полученных зависимостей и проведение детального аналитического и экспериментального исследования влияния принципиальных схем и отдельных элементов конструкции и режима работы газовых редукторов на эксплуатационные характеристики редукторов.

Практическим предомлением настоящей работы явилась

НД МЛ У им. Н. С. Баймана



1130419

Дейкун В. К. Исследование

разработка и внедрение в промышленность нового ряда газовых редукторов, обеспечивающих значительное повышение качества, производительности и экономичности процессов газопламенной обработки.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ГАЗОВЫХ РЕДУКТОРОВ ОТ ИХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И
РЕЖИМА РАБОТЫ

Были рассмотрены принципиальные схемы одно и двухступенчатых редукторов и одноступенчатого редуктора с пневматическим заданием рабочего давления. Аналитическая связь рабочих характеристик с конструктивными параметрами и режимом работы перечисленных типов редукторов раскрывается на основе анализа полученных для одноступенчатого редуктора зависимостей - уравнения регулирования и передаточных функций. При выводе уравнения регулирования одноступенчатого редуктора, последний рассматривался в виде двух последовательно соединенных детекторных звеньев: емкости и регулятора, замкнутых отрицательной обратной связью.

Рассмотрение газодинамических процессов, проходящих в емкостном звене редуктора, привело к выводу дифференциального уравнения емкости:

$$T_1 \dot{x}_2 + x_2 = -\delta x_a + \Delta x_1 - x_{ш} - x_{г.ш} \quad (1),$$

где x_2 , x_1 , $x_{ш}$ и $x_{г.ш}$ - относительное изменение рабочего давления, давления газа на входе в редуктор, расхода газа и приведенного расхода; T_1 - постоянная времени емкостного звена редуктора; Δ и δ - коэффициенты, учитывающие изменение коэффициента расхода газа и приведенного расхода.

Рассмотрение равновесия сил, действующих на чувствительный элемент редуктора - мембрану, позволило получить дифференциальное уравнение 2-го звена редуктора - регулятора:

$$T_2^2 \ddot{x}_a + 2\zeta T_2 \dot{x}_a + x_a = b_1^0 x_1 + b_2^0 x_2 - b_3^0 x_3 + x_{г.р}^0 \quad (2),$$

где: T_2 - постоянная времени регулятора; ζ - относитель-

ный коэффициент затухания колебания; $\theta_1, \theta_2, \theta_3, x_{TP}$ - коэффициенты усиления по каналам действующих возмущений - входному давлению, рабочему давлению, заданию рабочего давления и сухому трению; x_{Δ} - относительное изменение положения редуцирующего клапана редуктора.

Совместное решение уравнений емкости (1) и регулятора (2) привело к выводу дифференциального уравнения регулирования:

$$D(p) x_2 = F(t) \quad (3),$$

где $D(p) = a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3$ - собственный оператор регулирующей системы одноступенчатого редуктора.

$F(t) = [\Delta D_p(p) x_1 - \theta_1 x_1] - D_p(p) x_w - D_p(p) x_{y_0} - \theta_3 x_3 \pm x_{TP}$
 $D_p(p) = T_1^2 p^2 + 2 \zeta T_1 p + 1$ - собственный оператор регулирующего звена редуктора; a_0, a_1, a_2, a_3 - коэффициенты характеристического уравнения редуктора, зависящие от конструктивных параметров и режима работы редуктора; $\theta_1 = \delta \theta_1^*$; $\theta_2 = \delta \theta_2^*$ и т.д.

В статическом режиме уравнение регулирования принимает вид:

$$x_2 = \frac{\Delta - \theta_1}{1 + \theta_2} x_1 - \frac{1}{1 + \theta_2} x_w + \frac{\theta_4}{1 + \theta_2} x_3 - \frac{1}{1 + \theta_2} x_{y_0} \pm \frac{x_{TP}}{1 + \theta_2} \quad (4).$$

Из уравнения регулирования (4) были получены статические характеристики одноступенчатого редуктора:

а) изменение рабочего давления x_2 при изменении давления газа на входе в редуктор x_1 :

$$x_2 = \frac{\Delta - \theta_1}{1 + \theta_2} x_1 \pm \frac{x_{TP}}{1 + \theta_2} \quad (5),$$

б) изменение рабочего давления x_2 при изменении расхода газа x_w :

$$x_2 = - \frac{1}{1 + \theta_2} x_w \pm \frac{x_{TP}}{1 + \theta_2} \quad (6),$$

в) изменение рабочего давления x_2 при изменении усилия нажатия регулирующей пружины x_3 :

$$x_2 = \frac{\theta_4}{1 + \theta_2} x_3 \pm \frac{x_{TP}}{1 + \theta_2} \quad (7).$$

Для оценки влияния конструктивных параметров и режима работы одноступенчатого редуктора на его динамические характеристики из уравнения регулирования (3) были определены передаточные функции:

а) при нанесении возмущения по каналу входного давления X_1 :

$$W_1 = \frac{L[X_2]}{L[X_1]} = \frac{\Delta \cdot D_p(p) - b_1}{D(p)} \quad (8),$$

б) при нанесении возмущения по каналу отбора газа X_3 ;

$$W_3 = \frac{L[X_2]}{L[X_3]} = - \frac{D_p(p)}{D(p)} \quad (9),$$

в) при нанесении возмущения по каналу регулирования рабочего давления X_4 :

$$W_4 = \frac{L[X_2]}{L[X_4]} = \frac{b_4}{D(p)} \quad (10).$$

На основе анализа уравнения регулирования одноступенчатого редуктора были составлены функциональные структурные схемы одноступенчатого, двухступенчатого редукторов и редуктора с пневматическим заданием рабочего давления. Рассмотрение этих схем позволило установить, что любой газовый редуктор можно представить в виде различных комбинаций элементарных звеньев и типовых каналов связи одноступенчатого редуктора с присущими им коэффициентами усиления и передаточными функциями. Основываясь на этом непосредственно из рассмотрения структурных схем двухступенчатых редукторов и редукторов с пневматическим заданием рабочего давления, были получены уравнения регулирования, передаточные функции и статические коэффициенты передачи, определяющие рабочие статические и динамические характеристики этих редукторов.

Передаточные функции и статические коэффициенты передачи одноступенчатых редукторов с пневматическим заданием рабочего давления:

а) при изменении давления на входе в редуктор X_1 :

$$W_1 = \frac{L[X_2]}{L[X_1]} = W_{10} + W_{y0} \cdot W_{1n} \quad (II)$$

$$K_1 = \frac{x_2}{x_1} = K_{10} + K_{y0} \cdot K_{1n} = \frac{\Delta_0 - b_{10}}{1 + b_{20}} + \frac{b_{y0}}{1 + b_{20}} \cdot \frac{\Delta_n - b_{1n}}{1 + b_{2n}} \quad (12);$$

б) при изменении расхода газа x_w :

$$W_w = \frac{L[x_2]}{L[x_w]} = W_{w0} \quad (13)$$

$$K_w = \frac{x_2}{x_w} = K_{w0} = - \frac{1}{1 + b_{20}} \quad (14),$$

в) при изменении задания рабочего давления x_y :

$$W_y = \frac{L[x_2]}{L[x_y]} = W_{y0} \cdot W_{yn} \quad (15)$$

$$K_y = \frac{x_2}{x_y} = K_{y0} \cdot K_{yn} = \frac{b_{y0}}{1 + b_{20}} \cdot \frac{b_{yn}}{1 + b_{2n}} \quad (16).$$

В приведенных формулах индекс "0" присвоен передаточным функциям по тем или иным каналам x_1 , x_w , x_y ос новного редуктора, индекс "П" - пускового редуктора.

Передаточные функции и статические коэффициенты пере дачи двухступенчатого редуктора:

а) при изменении давления на входе в редуктор:

$$W_1 = \frac{L[x_2]}{L[x_1]} = W_1^I \cdot W_1^{II} \quad (17)$$

$$K_1 = \frac{x_2}{x_1} = K_1^I \cdot K_1^{II} \quad (18),$$

б) при изменении расхода газа:

$$W_w = \frac{L[x_2]}{L[x_w]} = W_w^{II} + W_1^{II} \cdot W_w^I \quad (19)$$

$$K_w = \frac{x_2}{x_w} = K_w^{II} + K_1^{II} \cdot K_w^I \quad (20),$$

в) при изменении задания рабочего давления:

$$W_y = \frac{L[x_2]}{L[x_y]} = W_y^{II} \quad (21)$$

$$K_y = \frac{x_2}{x_y} = K_y^{II} \quad (22).$$

ОПЫТНАЯ ПРОВЕРКА АНАЛИТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ, ОПРЕДЕ- ЛЯЮЩИХ РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОВЫХ РЕДУКТОРОВ

Вывод уравнений регулирования, на основе которых были

получены аналитические выражения рабочих характеристик редукторов, производился при некоторой идеализации реальных процессов, проходящих в газовых редукторах. Это привело к необходимости определить границы применения полученных аналитических зависимостей и точность их совпадения с опытными характеристиками, для чего была проведена экспериментальная часть работы.

Для определения статических и динамических характеристик газовых редукторов, эффективной площади мембран и величины расхода газа через дросселирующие элементы редукторов были спроектированы специальные стенды.

Проведенное сравнение рассчитанных с различной степенью приближения статических и динамических характеристик одноступенчатого редуктора с эквивалентными, экспериментально определенными характеристиками, показало:

а) если учитывается сила сухого трения, жесткость упругих элементов редуктора и действительная величина изменения коэффициента расхода газа через редуцирующий клапан, расчетные величины изменения рабочего давления при изменении давления газа на входе в редуктор, изменении расхода газа и изменении усилия сжатия регулирующей пружины, отклоняются от экспериментальных не более чем на 2%;

б) переходные процессы, построенные методом ступенчатого интегрирования Д.А.Башкирова по дифференциальным уравнениям звеньев одноступенчатого редуктора в случае, когда учитывались силы сухого трения и жесткость упругих элементов, а величина коэффициента расхода газа через клапанный узел принималась постоянной, отклоняются от экспериментальных осциллограмм этих процессов в пределах 10% абсолютной величины рабочего давления.

Таким образом, проведенное сопоставление расчетных и опытных статических и динамических характеристик одноступенчатых редукторов показало хорошее совпадение расчета с опытными данными, правильность выбранной схемы расчета и обоснованность принятых допущений.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВЫХ РЕДУКТОРОВ

Исследованию были подвергнуты три основные схемы редукторов, применяемых в газопламенной обработке - схема одноступенчатого и двухступенчатого редуцирования с механическим заданием рабочего давления и схема одноступенчатого редуцирования с пневматическим заданием рабочего давления.

Исследование влияния конструктивных параметров (d_c , f , K_z) и режима работы (P_{10} , P_{20} , V_c) одноступенчатых редукторов на характеристику $\Delta P_2 = f(\Delta P_1)$ для различных значений исследуемых параметров проводилось методом сравнения расчетных характеристик с характеристиками эталонного образца. Сравнение проводилось по максимальному отклонению рабочего давления и пределу редуцирования. Результаты исследования помещены на рис. 1 и 2.

Аналогично были исследованы статические характеристики - изменение рабочего давления при изменении расхода газа $\Delta P_2 = f(\Delta V)$ рис. 3а и изменение рабочего давления при изменении усилия сжатия регулирующей пружины $\Delta P_2 = f(\Delta Q_p)$ рис. 3б.

Исследование динамических характеристик - параметров устойчивости и качества регулирования одноступенчатых газовых редукторов проводилось методом Д-разбиения Ю.И.Неймарка и по диаграмме И.А.Вышнеградского с нанесенными кривыми характеристиками устойчивости и колебательности процесса регулирования. Исследование производилось без учета сил сухого трения в предположении небольших величин возмущающих воздействий.

В результате проведенного исследования были найдены зависимости динамических характеристик одноступенчатых редукторов от изменения жесткости упругих элементов K_z , эффективной площади мембраны f , массы подвижных элементов редуктора M , объема рабочей камеры редуктора Ω , коэф-фициента вязкого трения k (рис.4), изменения режима рабо-

ты редуктора P_{10} , P_{20} , V_0 , изменения рода регулируемого газа.

Проведенное исследование позволило установить основные закономерности влияния на статические и динамические характеристики одноступенчатых редукторов их конструктивных параметров и режима работы.

При анализе одноступенчатых редукторов с пневматическим заданием рабочего давления было установлено:

а) рабочие характеристики редуктора с пневматическим заданием рабочего давления при переменном отборе газа (уравнения I3 и I4), например, при работе в режиме рампового редуктора, совпадают с характеристиками его звена - основного редуктора, являющегося обычным одноступенчатым редуктором с весьма малой жесткостью упругих элементов, что обуславливает высокую статическую точность поддержания рабочего давления при переменном расходе и уменьшение динамической устойчивости редуктора (кривые K_{Σ} на рис. I и 4);

б) из уравнения (I2) следует, что если в качестве основного редуктора применить редуктор обратного действия $K_{1n} < 0$, а в качестве пускового - прямого действия $K_{1n} > 0$, то при равенстве абсолютных значений коэффициентов передачи этих редукторов общий коэффициент передачи редуктора будет близок к нулю, т.е. статическая ошибка при изменении давления газа на входе в редуктор будет минимальной.

динамическая характеристика рассматриваемого типа редуктора в данном случае сводится к динамической характеристике обычного одноступенчатого редуктора с малой жесткостью упругих элементов;

в) пневматическое управление редуктором, по сравнению с пружинным, в силу равенства (I6) позволяет значительно сократить силу регулирующего органа (пружины пускового редуктора) при управлении основными редукторами с большой эффективной площадью мембраны, что особенно важно для редукторов на большой расход газа и высокое рабочее давление (кислородные рамповые редукторы);

г) равенство (I5) свидетельствует, что основной и пу-

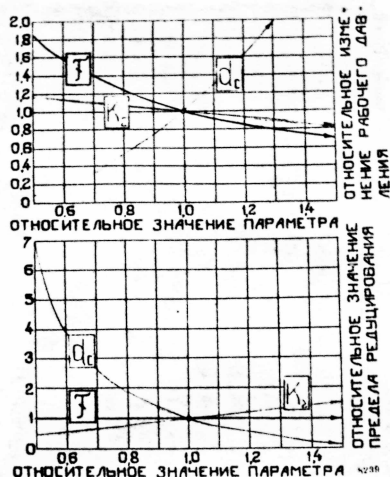


Рис.1. Зависимость максимального отклонения рабочего давления и предела редуцирования от изменения диаметра седла d_c , эффективной площади мембраны F , суммарной жесткости упругих элементов K_z .

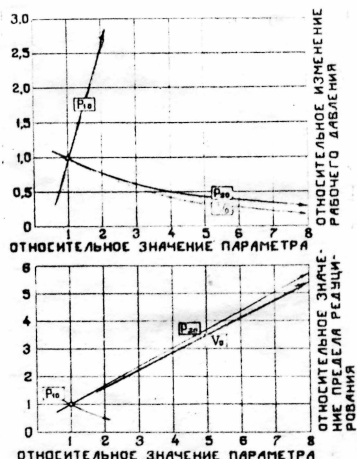


Рис.2. Зависимость отклонения рабочего давления и предела редуцирования от изменения величины максимального давления газа на входе в редуктор P_0 , рабочего давления P_{20} и расхода V_0 .

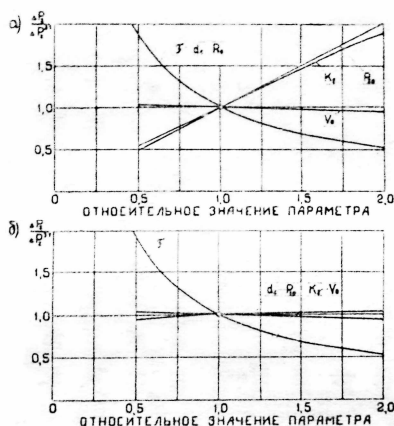


Рис.3. Изменение рабочего давления в зависимости от изменения конструктивных параметров редуктора d_c, F, K_z и его режима работы P_{10}, P_{20}, V_o при: а) изменении расхода газа $\Delta P_2 = f(\Delta V)$; б) изменении усилия сжатия регулирующей пружины $\Delta P_2 = f(\Delta P)$

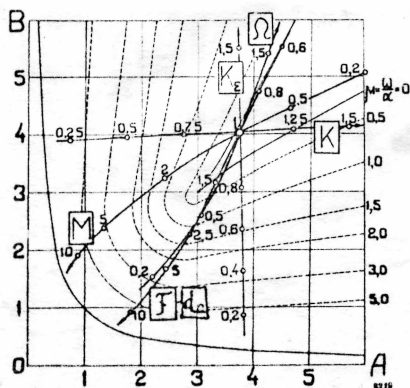


Рис.4. Траектории движения характеристической точки САР одноступенчатого газового редуктора в плоскости параметров Вышнеградского в зависимости от изменения конструктивных параметров $K_z, M, F, d_c, \Omega, k$.

сковой редукторы включены последовательно, не замкнуты отрицательной обратной связью и их динамические характеристики могут рассматриваться раздельно, как динамические характеристики обычных одноступенчатых редукторов.

При анализе передаточных функций и статических коэффициентов передачи двухступенчатых редукторов было установлено: а) статические и динамические характеристики двухступенчатого редуктора при изменении расхода газа и усилия сжатия регулирующей пружины, в основном, определяются параметрами II ступени редуцирования;

б) при изменении давления газа перед редуктором отклонение рабочего давления двухступенчатого редуктора от некоторым приближением обратно пропорционально произведению эффективных площадей мембраны I и II ступеней редуцирования (равенство 18); следовательно, при сравнительно небольших размерах чувствительных органов обеих ступеней редуцирования можно значительно увеличить статическую точность редуктора;

в) в соответствии с уравнением 17 динамическая устойчивость двухступенчатого редуктора может быть рассмотрена раздельно для каждой ступени редуцирования. В этом случае каждая из ступеней редуцирования работает в более благоприятных условиях, чем одноступенчатый редуктор, эквивалентный двухступенчатому по точности поддержания рабочего давления: уменьшенные размеры мембран, увеличенная жесткость регулирующей пружины I ступени редуцирования, уменьшенное входное давление газа, подаваемого ко II ступени редуцирования.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ,
РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТЬ УНИФИЦИ-
РОВАННОГО ТИПОРАЗМЕРНОГО РЯДА ГАЗОВЫХ РЕДУКТОРОВ
ДЛЯ ГАЗОПЛАМЕННОЙ ОБРАБОТКИ.**

Найденная в результате проведения настоящего исследования аналитическая связь статических и динамических характеристик газовых редукторов с их конструктивными параметрами и режимом работы и проведенный анализ полученных зависимостей явились необходимой теоретической основой для

разработки инженерной методики расчета основных элементов и характеристик газовых редукторов, обоснованного выбора, в зависимости от конкретных условий эксплуатации, принципиальных схем и типов газовых редукторов и разработки их унифицированного типоразмерного ряда.

Основными критериями при выборе принципиальных схем разрабатываемого типоразмерного ряда редукторов явились условия эксплуатации редукторов и требования конкретных технологических процессов газопламенной обработки, для которых эти редукторы предназначены.

Разработанный типоразмерный ряд редукторов был построен на основе 6-и базовых моделей, содержит 18 типов редукторов для газопламенной обработки и 11 типов для газозащитной сварки и резки и других процессов термической обработки. В настоящее время эти редукторы серийно изготавливаются Барнаульским аппаратно-механическим заводом. Опыт эксплуатации этих редукторов в промышленности показал их высокую работоспособность и эффективность, позволивших значительно повысить качество, производительность и экономичность процессов газопламенной и других видов термической обработки.

ВЫВОДЫ

1. Доказано, что статические и динамические рабочие характеристики газовых редукторов однозначно определяются принципиальной кинематической схемой редуктора, величиной его основных конструктивных параметров и режимом работы.

2. Проведенный анализ показал, что выбор принципиальной схемы и типа редуктора должен определяться схемой газопитания и конкретными требованиями технологического процесса, для которого выбирается редуктор.

3. Установлено, что уравнение регулирования одноступенчатого газового редуктора, при учете сил сухого и вязкого трения, жесткости упругих элементов и изменения коэффициентов расхода газа через редуцирующий клапан, с достаточной для инженерной практики точностью отражает действительную связь статических и динамических рабочих характеристик

редуктора с его конструктивными параметрами и режимом работы.

4. Проведенное исследование показало, что любой тип газового редуктора можно представить в виде различных комбинаций элементарных звеньев и типовых каналов связи одноступенчатого редуктора с присущими им коэффициентами усиления, передаточными функциями и статическими коэффициентами передачи. Статические и динамические характеристики любого типа редуктора могут быть определены непосредственно из структурной схемы редуктора по известным передаточным функциям и статическим коэффициентам передачи одноступенчатого редуктора.

5. Разработанная на основе проведенного исследования методика расчета основных параметров газовых редукторов позволила, исходя из требований максимального удовлетворения потребности газопламенной обработки, на базе широкой нормализации и унификации узлов и деталей редукторов, разработать и внедрить в серийное производство 29 новых типов газовых редукторов для оснащения процессов газопламенной обработки. Новые редукторы, по сравнению со старыми, более совершенны по своей конструкции и техническим характеристикам, имеют увеличенный срок службы, обеспечивает повышение производительности, качества и экономичности технологических процессов газопламенной и других видов термической обработки металлов.

ПЕРЕЧЕНЬ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ РАБОТ.

1. Дейкун В.К. Статические характеристики и методика расчета газовых редукторов. Труды ВНИИАВТОГЕНМАШ. Выпуск XII. М. Машиностроение. 1965.

2. Дейкун В.К. Вопросы типизации газовых редукторов. Труды ВНИИАВТОГЕНМАШ. Выпуск XIII. М. Машиностроение. 1966.

3. Дейкун В.К. Динамическая устойчивость газовых редукторов. Труды ВНИИАВТОГЕНМАШ. Выпуск XIV. М. Машиностроение. 1967.

4. Дейкун В.К. Динамические характеристики газовых редукторов. Труды ВНИИАВТОГЕНМАШ. Выпуск XV. М. Машиностроение. 1968.

5. Дейкун В.К. Исследование статических характеристик газовых редукторов. Труды ВНИИАВТОГЕНМАШ. Выпуск XVI. М. Машиностроение. 1969.