

М311777

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

Московское орденов Ленина и Трудового Красного Знамени
Высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана

УДК 629.113-585.22

ПОГОРЕЛОВ ВАЛЕРИЙ ВИКТОРОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ТЕЧЕНИЯ В
АВТОМОБИЛЬНЫХ ГИДРОТРАНСФОРМАТОРАХ И ВОПРОСЫ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛОПАСТНЫХ СИСТЕМ

(Специальность 05.04.03 - Криогенные, холодильные,
гидравлические и вакуумные машины и аппараты)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Москва - 1977 г.

Работа выполнена в Центральном ордена Трудового Красного Знамени автомобильном и автомоторном институте НАМИ.

Научный руководитель - кандидат технических наук старший научный сотрудник С.М.Трусов

Официальные оппоненты: - доктор технических наук
Б.А. Гавриленко
- кандидат технических наук
Г.Л.Подвидз

Ведущее предприятие - Белорусский автомобильный завод.

Защита состоится "25" апреля 1977 года.

на заседании специализированного Совета " Криогенные, холодильные, гидравлические и вакуумные машины и аппараты" при Московском орденов Ленина и Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005 Москва Б-5 2-я Бауманская, 5.

Ваши отзывы в 2-х экз.,
по указанному адресу.

С диссертацией можно позн
Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан "

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук

M 311777

Актуальность. Решениями XXIV и XXV съездов КПСС определено, что важнейшими задачами автомобилестроения являются рост количественного выпуска автомобилей и повышение их технико-экономических показателей. Улучшению производительности автомобиля, его надежности, проходимости, комфортабельности и т.д. во многих случаях способствует применение гидромеханических передач, получающее все большее развитие. В гидромеханических передачах автомобилей обычно вся мощность двигателя преобразуется в гидротрансформаторе (ГДТ) и его характеристики во многом определяют тягово-скоростные качества и топливную экономичность автомобиля. Возможности совершенствования лопастной системы ГДТ и улучшение его характеристик в настоящее время связаны с углубленным исследованием процессов, происходящих в его проточной части, и, в частности, с исследованием пространственной структуры потока

Цель работы. Развитие методов расчета и проектирования лопастных систем ГДТ, учитывающих пространственную структуру течения и способствующих созданию комплексных автомобильных ГДТ с высокими энергетическими показателями.

Научная новизна. Разработана методика расчета параметров осесимметричного потока в ГДТ, исследовано влияние параметров лопастной системы и режимов работы комплексного ГДТ на структуру осесимметричного потока, разработана методика проектирования лопастных систем комплексных гидротрансформаторов.

Практическая ценность и реализация в промышленности.

Материалы диссертационной работы позволяют обоснованно подходить к выбору параметров лопастных систем ГДТ, результаты исследований использованы при разработке в НАМИ комплексных автомобильных ГДТ для легковых автомобилей класса I,2 - 2,0 л, городских автобусов большой и особо большой вместимости, автомобилей-самосвалов БелАЗ и др. большегрузных автомобилей с дизельными двигателями.

Апробация работы. Содержание диссертации докладывалось:

- 1) На всесоюзных научно-технических семинарах по ГМП автомобилей в Московском автодорожном институте в 1968 - 1975 г.г.
- 2) На заседаниях секции научно-технического совета отдела лабораторий автомобильных агрегатов НАМИ в 1969-1975 г.г.

Выполненная работа отражена в 5-ти научно-технических отчетах НАМИ.

Публикации. По материалам работы опубликованы 7 статей,

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1311777

Погорелов В.В. Исследования

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, содержит 167 стр. машинописного текста и иллюстраций и приложение на 28 стр.

Содержание работы.

В первой главе изложены основные положения теории рабочего процесса ГДТ, дан критический обзор работ, посвященных исследованию течений в ГДТ, и обоснованы основные задачи исследования.

При расчете лопастной системы и исследовании процессов, происходящих в ГДТ, широкое применение находит одномерная теория, которая (как показывает практика пресектирования) позволяет создать

ГДТ с хорошими энергетическими показателями при использовании достаточно обоснованных эмпирических коэффициентов. Основные положения этой теории разработаны в трудах отечественных ученых А.П. Кудрявцева, Б.А.Гавриленко, И.Ф.Семичастнова, В.Н.Прокофьева, А.С. Гордеева, Д.Я.Александровского, А.Я.Кочкарева, С.М.Трусова и др. В одномерной постановке наиболее интересны сейчас исследования, связанные с оптимизацией осредненных параметров и унификацией лопастных систем ГДТ.

Вместе с тем многие практические задачи требуют для решения более глубокого изучения рабочего процесса ГДТ, исследования пространственных течений в его проточной части. С этим связаны, например, вопросы распределения углов лопасти по её высоте, определение поля углов атаки, выбор числа лопастей, определение углов отклонения потока и т.д.

В настоящее время при решении задач пространственного течения в таких лопастных машинах как насосы, турбины, компрессоры и т.д. широкое распространение получил метод, обоснованный и развитый в трудах Г.Ю.Степанова, Я.А.Сироткина, Г.В.Викторова, В.Т.Митрохина, М.И.Жуковского и др. отечественных ученых. Этот метод заключается в сведении трехмерной задачи к совокупности взаимосвязанных двумерных задач, а именно:

- 1) расчет осесимметричного течения в проточной части турбомашин;
- 2) расчет течений в решетках на осесимметричных поверхностях тока в слое переменной толщины;
- 3) расчет вторичных течений на ортогональных потоку осесимметричных поверхностях.

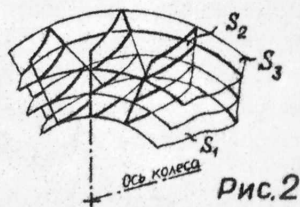
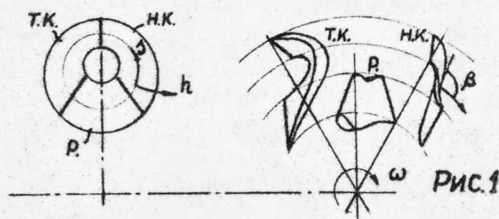
Такой подход к исследованию пространственных течений находит

применение и при расчете ГДТ. В работах Б.А.Гавриленко, В.Д.Минина, С.В.Львова, Л.Д.Галынкиной, В.М.Мищенко, Ю.С.Лейтеса, Л.В.Карцева, Г.П.Гореловой и др. при расчетах ГДТ с использованием теории решеток широко использованы методы, разработанные для других типов лопастных машин. Вопросам расчета осесимметричного потока в ГДТ посвящены работы С.М.Трусова, А.Н.Шерстяка, Ю.В.Прокофьева, Л.П.Грянка, О.А.Терентьева, Н.М.Вайсман, Д.Я.Алексапольского, В.Н.Макарчука, П.С.Завьялова и др.

Анализ этих работ показывает, что решение задачи осесимметричного течения в ГДТ имеет ряд особенностей, обусловленных его замкнутой лопастной системой, при этом многие вопросы постановки задачи и методов решения требуют уточнения и дальнейшего развития. Решение задачи отличается большой сложностью и связано с неоднократными графическими построениями. Что касается автомобильных ГДТ, то широкому применению подобных исследований в практике расчетов и проектирования препятствует также недостаточная изученность структуры потока в этих, обычно комплексных ГДТ, отличающихся сложной формой пространственных лопастей (рис. I).

На основании проведенного анализа были поставлены следующие задачи исследований:

- дать решение задачи осесимметричного течения в ГДТ и разработать пригодный для инженерных расчетов математический аппарат решения прямой задачи;
- исследовать особенности осесимметричного течения в комплексных автомобильных ГДТ и определить влияние отдельных параметров на характеристики этого течения;
- разработать методику проектирования лопастных систем автомобильных ГДТ с учетом особенностей осесимметричного течения;
- использовать результаты исследования при выборе параметров и проектировании лопастных систем ряда автомобильных ГДТ.



Во второй главе рассмотрены решения задачи осесимметричного течения ГДТ. Осесимметричная задача предполагает, что реальный поток осредняется вдоль окружной координаты и его параметры принимаются постоянными вдоль этой оси, что соответствует течению с бесконечным числом тонких лопастей. При этом силы, действующие на поток со стороны лопастей, эквивалентно заменяются массовыми силами, а коэффициент стеснения считается распределенным по окружности. Течение считается установившимся, жидкость — идеальной и несжимаемой.

При решении прямой задачи известными величинами являются геометрические параметры лопастной системы, определяющие поле углов осесимметричного потока, и на заданном расчетном режиме — величина расхода и частоты вращения лопастных колес. Известные уравнения неразрывности, равновесия, момента количества движения и энергии (интеграл Бернулли) позволяют установить в этом случае дифференциальные соотношения между параметрами осесимметричного течения в расчетных сечениях.

Осесимметричное течение в замкнутой лопастной системе ГДТ является периодичным в меридиональном сечении, параметры этого течения заранее неизвестны ни в одном из сечений проточной части и в любом из них зависят от параметров лопастной системы в целом. Поэтому дифференциальные уравнения связи параметров потока в расчетных сечениях образуют систему уравнений, необходимость решения которой является главной особенностью задачи осесимметричного течения в ГДТ.

При использовании численных методов (метода прямых) уравнения в частных производных заменяются приближенными конечноразностными. Задача решается в нескольких приближениях, причем, заранее предполагая характер потока, задаются исходное положение линий тока и ряд функций. От приближения к приближению эти функции, форма и положение линий тока уточняются, но в каждом из приближений они являются фиксированными. При таком подходе становятся неопределенными вопросы сходимости расчета, важное значение здесь имеет выбор исходного приближения. Вместе с тем достигается значительное упрощение вычислений, в частности очевидным становится целесообразность проведения вычислений в два этапа.

На первом этапе составляется система уравнений, связывающих параметры потока в межколесных зазорах. В естественных ортогональных координатах δ, h, q эту систему образуют уравнения типа $2/2$:

$$a_{q(q-1)} \left(\frac{dC_m}{dh} \right)_{(q-1)/2} + a_{qq} \left(\frac{dC_m}{dh} \right)_{q/2} = k_q \quad (1)$$

где

$$a_{qq} = \left(\frac{1 + ctg^2 \beta}{\varphi^2} \right)_{q_2}; \quad a_{q(q-1)} = \left(\frac{1 + c \cdot ctg \beta}{\varphi^2} \right)_{(q-1)2};$$

$$k_q = \left[\frac{C_m}{\varphi^2} (K_m + b \cdot ctg \beta) \right]_{q_2} - \left[\frac{C_m}{\varphi^2} (K_m + b \cdot c) \right]_{(q-1)2};$$

$$b = \frac{d \cdot ctg \beta}{dh} - \frac{\cos \gamma}{2} (ctg \beta + 2 \frac{\omega^2}{C_m}); \quad c = ctg \beta + 2 \frac{\Delta \omega}{C_m}.$$

Решение этой системы уравнений дает зависимости $C_m = f(h)$ для межволосяных зазоров ГДТ.

На втором этапе производится расчет параметров потока в лопастных колесах, при этом, как граничные условия, используются результаты расчета на первом этапе:

$$\frac{dC_m}{dh} = \frac{\varphi^2 F_0 + C_m (K_m + b \cdot ctg \beta + f_u \cdot tg \delta)}{1 + ctg^2 \beta} \quad (2)$$

В уравнениях (1) и (2) использованы обозначения:

- ω_q - скорость вращения q -ого лопастного колеса,
- r - радиус вращения,
- C_m - меридиональная скорость,
- γ, K_m - угол наклона и кривизна линии тока,
- β, δ - углы лопасти на поверхностях $s-q$ и $h-q$,
- φ - коэффициент стеснения,
- f_u - окружная составляющая массовой силы, учитывающей воздействие лопастей на поток,

$$F_0 = \frac{1}{\varphi^2 r} \left[C_m (K_m + b \cdot c) + \frac{dC_m}{dh} (1 + c \cdot ctg \beta) \right].$$

- (по данным первого этапа расчета).

По результатам решения второй части задачи следует перестроить линии тока и уточнить угловые характеристики потока. После этого проводится решение первого этапа во втором приближении, затем уточняются поля скоростей в лопастных колесах и т.д. Предлагаемый метод решения осесимметричной задачи в комплексных ГДТ предусматривает следующий порядок вычислений:

- в качестве исходной координатной сети используется близкая к построениям для равноскоростного потока ортогональная сетка. Её образуют дуги окружностей, нормальные к наружному и внутреннему торам и семейство линий тока, также описанных с помощью окружностей. Соответствующие аналитические зависимости позволяют определить параметры r, γ, K_m в расчетных сечениях;

- в исходном приближении углы лопасти определяются с помощью дифференциальных зависимостей:

$$ctg \beta = dq/ds; \quad tg \delta = -dq/dh \quad (3)$$

при этом дано решение для обычно применяемых в этих ГДТ лопастей с линейчатой поверхностью.

- во втором и последующих приближениях уточненные параметры линий тока определяются с помощью круговой аппроксимации по значениям h , найденным на ортогоналях предыдущего приближения из условия деления расхода в сечении на равные части. В частности, при линеаризации эпюры скоростей положение средней линии тока определяется простым выражением

$$h_{cp} = \frac{H}{2} \left(1 + \frac{p+q}{4} \right) \quad (4)$$

где $p = -H \left(\frac{\cos \gamma}{r} \right)_{cp}$ - характеристика расчетного сечения,

$q = H \left(\frac{dC_m/dh}{C_m} \right)_{cp}$ - характеристика эпюры скоростей.

- углы лопасти на уточненных координатных поверхностях определяются без трудоемких вычислений по уравнениям (3), а с использованием значений углов β_0 , δ_0 , γ_0 исходного приближения /5/:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{ctg} \beta &= \operatorname{ctg} \beta_0 \cos(\gamma - \gamma_0) + \operatorname{tg} \delta_0 \sin(\gamma - \gamma_0) \\ \operatorname{tg} \delta &= \operatorname{tg} \delta_0 \cos(\gamma - \gamma_0) - \operatorname{ctg} \beta_0 \sin(\gamma - \gamma_0) \end{aligned} \right\} (5)$$

Такая организация вычислений улучшает возможность эффективного использования ЭВМ для решения прямой задачи осесимметричного течения в ГДТ, поскольку найденные решения устраняют необходимость в неоднократных графических построениях. В этой связи ряд преимуществ имеет использование полуфиксированной сетки, которую составляют семейство линий тока $\mathcal{L}$ и семейство секущих $\mathcal{P}$, в общем случае образующих с ортогональю h угол $\alpha \neq 0$. В этом случае в каждом приближении объем вычислений, связанных с уточнением координатной сети и подготовкой исходных данных, сокращается, но расчетные уравнения, например коэффициенты уравнений (I), имеют более сложный вид:

$$\begin{aligned} a_{q_2}^{(2)} &= \frac{a_{q_2}^{(h)}}{\cos \alpha_{q_2}}; & a_{q_{(q-1)}}^{(1)} &= \frac{a_{q_{(q-1)}}^{(h)}}{\cos \alpha_{(q-1)2}}; \\ k_q^{(2)} &= k_q^{(h)} - a_{q_{(q-1)}}^{(h)} \left(\sin \alpha \frac{dC_m}{d\beta} \right)_{(q-1)2} - a_{q_2}^{(h)} \left(\sin \alpha \frac{dC_m}{d\beta} \right)_{q_2} \end{aligned} \quad (6)$$

Принципы построения алгоритмов и основные этапы решений при расчетах в естественной и полуфиксированной сетках совпадают.

Применительно к использованию ЭВМ разработана также упрощенная методика решения осесимметричной задачи, которая учитывает то обстоятельство, что обычно в комплексных ГДТ направления расчетных

сечений примерно ортогональны к линиям тока, а функции $K_m = f(h)$ незначительно отличаются от соответствующих равноскоростному потоку. Эта методика была использована при изучении свойств осесимметричного течения комплексных ГДТ.

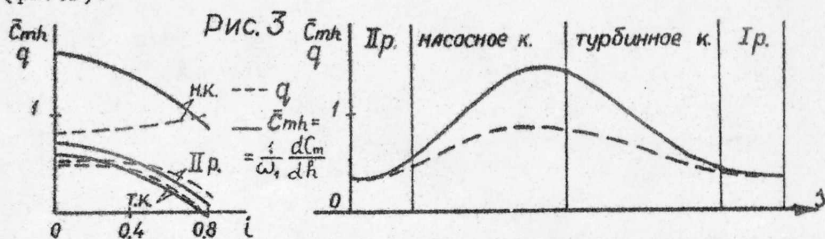
Кроме того, для замкнутой лопастной системы ГДТ была рассмотрена возможность проведения расчетов как в открытой лопастной системе. Такой способ расчета, когда для одного из сечений предварительно выбирается закон распределения скоростей применялся ранее Д.Я.Александровским, В.Н.Макаруком и Н.М.Вайсман. Анализ коэффициентов системы уравнений (I) показывает, что его применение обосновано на режимах, когда в одном из сечений соблюдается условие:

$$\frac{\Delta i}{\bar{c}_m} \approx \frac{1 + \operatorname{ctg}^2 \beta}{2 \operatorname{ctg} \beta} \quad \text{некоторых} \quad (7)$$

В частности, исследования показали, что в комплексных ГДТ условия (7) соблюдаются в диапазоне передаточных отношений от $i = 0,4$ до $i = 0,8$. При подобных расчетах достигается значительное упрощение вычислений и поэтому они широко использовались при анализе влияния отдельных параметров на структуру потока.

В третьей главе изложены результаты теоретического и экспериментального исследований характеристик осредненного осесимметричного течения в комплексных ГДТ.

Расчетно-теоретические исследования показали, что для осесимметричного потока в комплексных ГДТ характерны следующие особенности (рис.3):



на основных расчетных режимах скорость меридионального потока возрастает от внутреннего тора к наружному;

наибольшие значения градиентов dC_m/dh поле меридиональных скоростей имеет на выходе из насосного колеса;

увеличение градиента dC_m/dh в насосном колесе объясняется тем, что в этом колесе пропорционально отношениям радиусов входа и выхода на разных линиях тока жидкости сообщается неодинаковая величина энергии, причем наибольший рост градиента наблюдается на радиальном, наиболее нагруженном участке колеса;

в других межколесных зазорах градиенты уменьшаются с ростом передаточного отношения и при больших i поток приближается к равноскоростному;

на структуру осесимметричного течения существенно влияет величина углов кручения лопастей, причем снижение градиентов dc_m/dh способствует, если лопасть по внутреннему тору загнута в меньшей степени, чем по наружному;

выравниванию эпюр меридиональных скоростей способствует также стеснение потока лопастями, особенно в средней части турбинного колеса, относительное увеличение втулочного диаметра и местное увеличение кривизны линий тока;

значения углов потока, натекающего на лопастные колеса, существенно меняются по высоте лопасти: на входе в насосное колесо угол потока от наружного тора к внутреннему увеличивается на $35-50^\circ$, а на входе в турбинное колесо уменьшается на $20-30^\circ$, однако на входе в реактор неравномерность углов потока невелика во всем диапазоне передаточных отношений.

Степень неравномерности меридионального потока оценивалась не только градиентом dc_m/dh , но и связывающим средние значения скорости градиента и размер сечения безразмерным параметром q (4), предельные значения которого $q = \pm 2$ соответствуют условиям $C_m = 0$ у внутреннего или наружного торов. Для реального потока рекомендуются меньшие значения q , в связи с развитием диффузности и опасностью отрыва потока у внутреннего тора. Этот параметр в исследованных ГДТ типа ЛГ имеет значения: $q = 0,9-1,2$ на выходе из насосного колеса и $q = 0,3-0,5$ в других межколесных зазорах, причем в различных сечениях и на разных режимах значения q отличаются в меньшей степени, чем значения градиента dc_m/dh . В комплексных ГДТ с расширенными проходными сечениями течение характеризуется большими значениями q , несмотря на меньшие значения градиента dc_m/dh и поток в большей степени отличается от равноскоростного, ввиду чего при проектировании этих ГДТ особенно важен учет структуры потока.

Для экспериментального исследования параметров осредненного осесимметричного течения был спроектирован и изготовлен комплексный ГДТ, конструкция которого позволила осуществить зондирование потока в межколесных зазорах /3/. Испытания ГДТ с $D_a = 340$ мм проводились на перетенном масле марки "АУ", частота вращения насосного колеса составляла $n_1 = 1500$ об/мин, температура масла $t = 90^\circ\text{C}$.

Осреднение параметров потока по шагу за вращающимися колесами осуществлялось непосредственно при замерах за счет инерционности из-

мерительной аппаратуры, а за неподвижным реактором — при обработке результатов измерений в нескольких сечениях по шагу. По показаниям образцовых манометров, фиксирующих величины давлений в приемных отверстиях насадка, определялись угол потока и значения полного напора и его динамической составляющей, а затем вычислялись статическое давление, составляющие скорости и другие характеристики потока. Приведение результатов измерений к безразмерному виду способствовало устранению погрешностей при отклонении условий эксперимента от номинальных.

Анализ результатов измерений показал, что расчетно-теоретические исследования в основном удовлетворительно описывают характер осредненного осесимметричного потока в ГДТ, в частности подтвердилась целесообразность исходной предпосылки расчета о выборе начальных условий на средней линии тока.

Измерения показали, что в ядре потока, также как и при расчетах, меридиональная скорость возрастает от внутреннего тора к наружному. Однако в отличие от близких к линейным расчетных кривых, при эксперименте было обнаружено уменьшение меридиональных скоростей к границам сечения, что повидимому объясняется тормозящим эффектом граничных поверхностей наружного и внутреннего торов. Большая сходимость расчетных и экспериментальных эпюр наблюдается на выходе из турбинного колеса и реактора, меньшая — на выходе из насосного колеса, где значения градиентов dc_m/dh ниже расчетных особенно при больших i , когда осредненный поток приближается к равноскоростному.

Эти расхождения обусловлены тем, что измеренные значения углов потока в межколесных зазорах не полностью соответствуют обычно принимаемым при расчетах зависимостям углов отклонения потока. Вообще говоря, эти углы определяются из решения задачи о течении в решетках профилей, но согласно принятой схеме расчета поле углов осесимметричного течения для густых решеток профилей описывается средней поверхностью лопасти, за исключением выходного участка, где поток отклоняется от направления лопасти. Зависимость между силами, действующими на этом участке, и траекторией частицы жидкости в относительном движении приводит к выражению /6/:

$$\Delta\beta = \frac{k\pi Z}{Z \sin\beta} \left(2 \frac{\omega}{c_m} \sin\gamma + \frac{c_{m2}}{c_m} - \frac{K_2}{\sin^3\beta} + \frac{\sin\gamma}{2} \operatorname{ctg}\beta \right). \quad (8)$$

Это уравнение учитывает влияние на угол отклонения потока $\Delta\beta$ величины относительного вихря ($\omega \sin\gamma$), положения выходного сечения

($\sin \gamma/2$), диффузности течения ($C_m = dC_m/ds$) и кривизны лопасти (K_3). Как частный случай уравнение (8) включает известное уравнение Стодола для радиального колеса. Результаты расчетов по уравнению (8) удовлетворительно совпадают с опытными данными на средней линии тока во всех межлопастных зазорах (рис.4), на выходе из неподвижного реактора сходимость получена для всего сечения.



Вместе с тем подобные расчеты не приводят к полученному экспериментально возрастанию угла отклонения потока за насосным колесом от внутреннего тора к наружному. Это свойство потока ранее было обнаружено также О.А.Терентьевым и В.В.Барановым при измерении углов потока в комплексных ГДТ типа ГТК и ГАЗ.

Такое несоответствие объясняется действием вторичных течений. Сложение вторичного потока с меридиональным дает зависимость для угла потока:

$$\operatorname{ctg} \beta_n = \operatorname{ctg}(\beta + \Delta\beta) \pm \frac{C_{вт}}{C_m} \quad (9)$$

Для ядра потока (не рассматривая процессы, происходящие в пограничном слое) существенно влияние проекции относительного вихря на направление меридиональной скорости $2\omega \cos \gamma$, который обуславливает винтовой характер течения в межлопастных каналах. На выходном участке радиально-осевого насосного колеса комплексного ГДТ составляющая скорости винтового потока $C_{вт}$ у внутреннего тора направлена в сторону вращения колеса, а у наружного тора - в обратную сторону. Это уменьшает угол отклонения потока у внутреннего тора и увеличивает у наружного, что соответствует результатам измерений.

Подобные уточнения при расчетах или использование при расчетах опытных данных по распределению потерь и особенно углам отклонения потока значительно улучшает сходимость расчетных кривых с экспериментальными, что позволяет сделать вывод о применимости модели осесимметричного течения для густых решеток комплексных ГДТ на основных расчетных режимах.

В четвертой главе излагается методика проектирования лопастных систем комплексных ГДТ, которая включает вопросы определения углов лопастной системы, построения поверхности лопасти и определе-

ния её геометрических характеристик. Эта методика обобщает опыт создания в НАМИ высокоэкономичных автомобильных ГДТ.

Осредненные входные и выходные углы лопастей определяются как оптимальные при исследовании на экстремум (в рамках одномерной теории) баланса энергии в ГДТ при условии безударного входа на расчетном режиме, при этом учитывается влияние углов лопасти на размеры межлопастных каналов и величину потерь в них /1/. По результатам исследований получены зависимости изменения оптимальных углов лопастной системы и характеристик ГДТ от расчетного режима и угла выхода из насосного колеса, во многом определяющих преобразующие и нагрузочные свойства ГДТ. Установлено, что для комплексных ГДТ выходные углы турбинного колеса и реактора изменяются в узких пределах: $\beta_{22} = 150-157^\circ$; $\beta_{32} = 20-28^\circ$.

Углы кручения лопасти, или разность углов на входной или выходной кромке лопасти по наружному и внутреннему торам, определяются по результатам исследования осесимметричного течения в ГДТ, но с учетом конструктивных особенностей каналов проектируемых колес. Так рекомендуемые для выравнивания меридионального потока углы кручения, при которых лопасти по наружному тору должны быть загнуты в большей степени, чем по внутреннему, в колесах комплексных ГДТ с расширенными проходными сечениями зачастую приводят к ухудшению формы межлопастных каналов. Обычно более целесообразны компромиссные решения, как например, в ГДТ типа ЛГ (рис. 5), где насосные

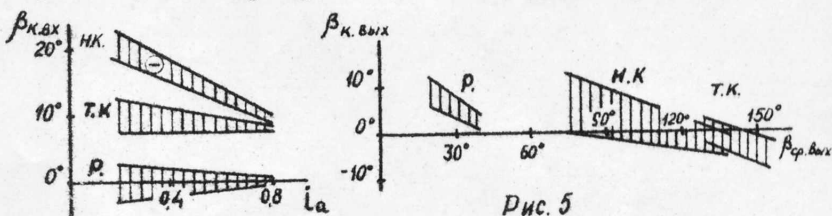


Рис. 5

колеса имеют угол выхода по высоте лопасти, выполненный постоянным, турбинные колеса - увеличивающийся к внутреннему тору на $6-10^\circ$, а реакторы - уменьшающийся на $4-10^\circ$.

Значения входных углов согласуются путем анализа поля углов осесимметричного течения, в частности в рассматриваемых ГДТ входной угол лопасти в насосном колесе выполнен увеличивающимся к внутреннему тору на $25-40^\circ$, в турбинном колесе - уменьшающимся на $10-20^\circ$, а в реакторе постоянным.

По определенным значениям углов входа и выхода на наружном и внутреннем торах и заданным размерам меридионального сечения колеса возможно осуществить профилирование лопасти с разработкой её чертежа. Чертеж лопасти

(см. рис. 6) обычно включает: а) меридиональное сечение колеса, в координатах Z, Z , б) проекцию лопасти в плане, в координатах X, Y , в) боковую проекцию лопасти, в координатах X, Z , г) и д) развертки профилей по наружному и внутреннему торах, в координатах U, V . При построении чертежа лопасти обычно используются графические приемы, но разработанное математическое описание построения лопасти сделало возможным применение ЭВМ, осуществив решение ряда задач на оптимизацию [5].

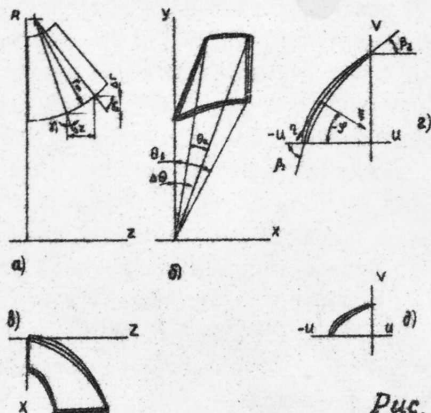


Рис. 6

Методика предусматривает, что при построении развертки профиля симметричный исходный профиль деформируется по средней линии, описанной квадратичной параболой, оптимизируемым параметром которой является положение точки максимального прогиба.

Построение профильных кривых на осесимметричных поверхностях наружного и внутреннего торов осуществляется методами конформного отображения в соответствии с уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} \delta &= V \\ \theta &= \Delta\theta + \int \frac{du}{r} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где $\Delta\theta$ - величина смещения профиля по внутреннему тору, критерием оптимальности которого служат значения углов δ наклона лопасти к торовым поверхностям на её кромках.

Линейчатые поверхности лопасти образуются при таком движении прямой линии от входной кромки к выходной, что расстояние вдоль профилей до точек их пересечения с образующей находятся в том же отношении, что и длины профилей.

Разработанная методика нашла свою реализацию в комплексной программе профилирования лопастных колес ГДТ на ЭВМ "Минск-22М". При этом выделены три последовательно решаемые задачи:

вычисление массивов координат профильных кривых, формирование и печать на АЦПУ таблиц координат, построение чертежа лопасти с помощью автоматической чертежной машины, работающей в качестве внешнего устройства ЭВМ.

Все программы написаны на языке "Алгамс", обмен информацией осуществляется через накопитель на магнитной ленте.

Практические расчеты и построения показали универсальность разработанных программ при профилировании всех типов лопастных колес комплексных ГДТ. В сравнении с обычными в практике графическими приемами машинный метод снижает трудоемкость проектных работ, обеспечивает однозначность решения, позволяет с высокой точностью определить геометрические характеристики лопасти. Применение графопостроителя делает возможным визуальный контроль вычислений и облегчает поиск оптимального варианта, получаемый чертеж (см. рис. 6) удобен для дальнейшего использования, например, при создании производственного чертежа лопастного колеса.

В заключении изложены основные результаты проведенных исследований:

1. Разработанное решение задачи осесимметричного течения в замкнутой лопастной системе гидротрансформатора осуществляется методом последовательных приближений и включает следующие этапы: исходное построение линий тока, расчет параметров потока в межколесных зазорах, расчет параметров потока в лопастных колесах, уточнение линий тока, расчет параметров потока во втором приближении и т.д. При этом при определении параметров линий тока и угловых характеристик лопасти вместо обычно используемых графических приемов используются численные методы, что делает эффективным использование ЭВМ.

2. Сопоставление расчетных данных с результатами зондирования потока позволяет сделать вывод о применимости модели осесимметричного течения для исследования параметров потока в комплексных гидротрансформаторах на основных расчетных режимах в диапазоне от $l = 0,4$ до $l = 0,8$. К улучшению сходимости с экспериментом приводит использование при расчетах опытных данных о характере распределения потерь и особенно по углам потока в межколесных зазорах, а также полученных аналитических зависимостей о влиянии конечного числа лопастей на отклонение потока в колесах комплексных гидротрансформаторов.

3. Для осесимметричного течения в комплексных гидротрансформаторах характерным является увеличение меридиональной скорости от внутреннего тора к наружному. Наибольшие значения градиентов dC_m/dh поле меридиональных скоростей имеет на выходе из насосного колеса. С ростом передаточного отношения градиенты dC_m/dh в меколесных зазорах уменьшаются и поток приближается к равноскоростному.

4. Оптимальное согласование лопастных систем в осесимметричном потоке для комплексных гидротрансформаторов типа ЛГ достигается при следующих значениях углов кручения лопастей: в выходных сечениях $\beta_{k12} \approx 0^\circ$, $\beta_{k22} = -(6+10)^\circ$, $\beta_{k32} = 4-6^\circ$; во входных сечениях $\beta_{k11} = -(20-40)^\circ$, $\beta_{k21} = 10-20^\circ$, $\beta_{k31} \approx 0^\circ$.

5. Разработанная методика проектирования лопастных систем комплексных гидротрансформаторов включает решения вопросов оптимизации осредненных углов лопасти, выбора углов кручения и аналитические методы решения задач построения поверхности лопасти и определения её геометрических характеристик.

Разработан комплекс АЛГОЛ-программ профилирования с получением чертежа лопасти и таблиц координат профильных кривых, использование ЭВМ с графопостроителем значительно сокращает время проектирования, повышает точность и обеспечивает однозначность решения.

6. Основные теоретические положения, методы расчета и проектирования и практические рекомендации, изложенные в работе, были использованы при разработке в НАМИ лопастных систем ряда комплексных автомобильных гидротрансформаторов, в том числе:

гидротрансформатор для гидропередачи ИЖ-НАМИ легкового автомобиля класса I,2-2,0 л,

гидротрансформаторы для передач ЛАЗ-НАМИ городских автобусов большой и особо большой вместимости,

гидротрансформаторы для гидропередач самосвалов БелАЗ, тягачей МоАЗ и др. большегрузных автомобилей,

Испытания показали, что эти гидротрансформаторы имеют высокий уровень энергетических показателей с максимальным к.п.д. 87-91%.

Основное содержание диссертации опубликовано в статьях:

Г. С.М.Трусов, В.В.Погорелов. О выборе оптимальных углов наклона лопастей в гидротрансформаторах на расчетном режиме. Труды НАМИ, вып. 128, М.1971.

2.В.В.Погорелов, С.М.Трусов. Расчет осесимметричного потока в гидротрансформаторе. Труды НАМИ, вып. 131, М.1971.

3. В.В.Погорелов, С.М.Трусов, Э.Н.Виборнов. Экспериментальное

исследование параметров потока в комплексном гидротрансформаторе. Труды НАМИ, вып. 131, М. 1971.

4. В.В.Алешин, С.М.Трусов, Н.Д.Мазалов, И.А.Левин, В.В.Погорелов. Исследование и разработка гидротрансформатора повышенной энергоемкости для большого городского автобуса. Труды ГСКБ по автобусам, Львов, 1974.

5. В.В.Погорелов. Профилирование и определение геометрических характеристик лопастного колеса гидротрансформатора. Труды НАМИ, вып. 154, М. 1975.

6. С.М.Трусов, В.В.Погорелов, Э.П.Выборнов, Л.Н.Чистяков. Учет влияния конечного числа лопастей на отклонение потока в турбомашинах. "Вестник машиностроения" 1976, № 2.

7. С.М.Трусов, В.В.Погорелов, Л.Н.Чистяков. Об одном методе увеличения энергоемкости комплексного гидротрансформатора. Труды НАМИ, вып. 158, М. 1976.

ПОГОРЕЛОВ Валерий Викторович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ТЕЧЕНИЯ В
АВТОМОБИЛЬНЫХ ГИДРОТРАНСФОРМАТОРАХ И ВОПРОСЫ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛОПАСТНЫХ СИСТЕМ

(Специальность 05.04.03 - Криогенные, холодильные,
гидравлические и вакуумные машины и аппараты)

Л 79598 Подп.к печ. 21.03-77уч.изд.л. I Печ.л. I

Форм.бум.60*90/16. Зак. 227 Тир.100.

Типография НАМИ. 125438.Москва, А-438, Автомоторная ул., 2