

Рис.3. Векторное поле меридианных скоростей в плоскости  $\varphi = 135^\circ$

#### SUMMARY

The using solution algorithm of threedimensional fluid flow in hydrodynamic machine with using mutual influence of all elements by method of discrete hydrodynamic singularities with using hydrodynamic closed whirlwind systems was realized by computers. The given results of numerical calculation will allow more reliably and operatively to value in limits of customary flow model hydrodynamic parametrs of hydrolic machine and to promote their improvement.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.Д.Косторной и др. Моделирование течения жидкости в проточной части гидравлической турбины. // Гидравл.машины. 1990.Вып.24.С.10-16.
2. С.М.Белоцерковский, И.К.Лифанов. Численные методы в сингулярных интегральных уравнениях и их применение в аэродинамике, теории упругости, электродинамике. // М.: Наука. 1985. 256 с.

Поступила в редколлегию 13 апреля 1994 г.

УДК 621.224

## РАСЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА ЗА РЕШЕТКОЙ ПРОФИЛЕЙ ПРЕДВКЛЮЧЕННОГО РАБОЧЕГО КОЛЕСА НАСОСА

Косторной С.Д.

В некоторых конструктивных схемах насосов с целью улучшения их кавитационных характеристик применяют предвключенное рабочее колесо (р.к.),лопасть которого выполняется с уступом. Вследствие шаговой неравномерности потока в р.к., кромочных следов за лопастями, вихреобразования на лопастях основного р.к. возможны значительные динамические нагрузки. Из [1] известно, что в осевом компрессоре при увеличении осевого зазора в два раза возмущающие силы на лопатках направляющего аппарата (н.а.) и р.к. уменьшаются примерно в два раза, причем, уровень нестационарности на лопатках н.а. в три раза

больше, чем на лопастях р.к. Из [2] следует, что увеличение межлопастного зазора в насосе с 1,6 до 8,6 мм приводит к уменьшению гидродинамических нагрузок на лопатках в два раза.

Однако опытных данных по изменению пульсаций давления в проточной части гидромашин недостаточно, в то же время для расчета на прочность и вибрацию лопастей и области входных кромок р.к. необходимо знать изменение пульсаций давления в межрешеточном зазоре р.к. Поэтому для практики гидромашиностроения весьма желательно располагать методами математического моделирования нестационарного течения в проточной части, что представляет собой весьма сложную задачу.

Возрастающие запросы практики в связи с изучением отрывного нестационарного обтекания тел, взаимодействия вихревых следов друг с другом и обтекаемыми телами приводит к новым классам задач, которые не удастся решить физическим экспериментом, так как получение опытной информации связано с определенными трудностями.

В данной работе, как и в [3, 4] будем считать, что основным источником нестационарных явлений в потоке являются вихри, которые в процессе потери устойчивости и распада делают течение нестационарным и превращают упорядоченные вихревые образования - пелены в вихревые ансамбли. Последние, двигаясь вместе со средой, видоизменяются, вращаются, образуя как новые макроструктуры, так и выделяя мелкие вихри.

В соответствии с принятой схемой общий подход к моделированию отрывного нестационарного обтекания решетки профилей и изучению параметров потока в ближнем турбулентном следе состоит из решения двух задач. На первом этапе исследования решается полная нестационарная задача в рамках схемы идеальной среды и построения вихревых макроструктур, а на втором этапе вычисляются турбулентные нестационарные характеристики ближнего следа. При этом обоснованным ответом на вопрос принципиального значения о моделировании случайных процессов и получении стохастических характеристик турбулентности в рамках принятой модели течения служит тот факт, что исходные уравнения решаются в каждый момент времени при различных начальных условиях (за счет того, что при разных  $t$  в потоке находится разное число свободных вихрей). Это обстоятельство приводит к различным мгновенным значениям скоростей.

Для расчета нестационарных характеристик применяем метод дискретных вихрей [3]. Задача определения нестационарных характеристик сводится к нахождению интенсивности суммарного вихревого слоя на профиле решетки и свободных вихревых слоев в следе за профилем. Плоская нестационарная задача течения жидкости в области решетки профилей решается в нелинейной постановке. Жидкость считается идеальной. Отрыв потока на профиле фиксируется на уступе и выходной кромке. Интенсивность суммарного вихревого слоя определяется из условия непротекания поверхности профиля и теоремы Томсона о постоянстве циркуляции по замкнутому контуру, охватывающему профиль и след. Непрерывный вихревой слой на контуре профиля моделируется системой дискретных вихрей, между которыми располагаются расчетные точки. Вихревые пелены за уступом и выходной кромкой также моделируются системой дискретных вихрей, которые движутся вместе с потоком без изменения циркуляции.

Расчетная модель для исследования нестационарного безотрывного и отрывного обтекания решетки профилей, использованная в данной работе, представлена в [5]. Система линейных алгебраических уравнений, реализующая задачу обтекания, имеет следующий вид:

$$\sum_{\mu=1}^N \gamma_{\mu} \frac{sh \frac{2\pi}{7} (\gamma_v - \eta_{\mu}) \sin \alpha_v + \sin \frac{2\pi}{7} (x_v - \xi_{\mu}) \cos \alpha_v}{ch \frac{2\pi}{7} (\gamma_v - \eta_{\mu}) - \cos \frac{2\pi}{7} (x_v - \xi_{\mu})} \delta S_{\gamma\mu} + \Delta_1' \frac{sh \frac{2\pi}{7} (\gamma_v - \eta_1') \sin \alpha_v + \sin \frac{2\pi}{7} (x_v - \xi_1') \cos \alpha_v}{ch \frac{2\pi}{7} (\gamma_v - \eta_1') - \cos \frac{2\pi}{7} (x_v - \xi_{\mu})} \delta S_1' +$$

$$+ \Delta_2' \frac{sh \frac{2\pi}{7} (\gamma_v - \eta_2') \sin \alpha_v + \sin \frac{2\pi}{7} (x_v - \xi_2') \cos \alpha_v}{ch \frac{2\pi}{7} (\gamma_v - \eta_2') - \cos \frac{2\pi}{7} (x_v - \xi_2')} \delta S_2' = 2tV_{\infty} \cos(\beta_{\infty} + \alpha_v) -$$

$$- \sum_{s=1}^{v-1} \Delta S \frac{sh \frac{2\pi}{7} (\gamma_v - \eta_s) \sin \alpha_v + \sin \frac{2\pi}{7} (x_v - \xi_s) \cos \alpha_v}{ch \frac{2\pi}{7} (\gamma_v - \eta_s) - \cos \frac{2\pi}{7} (x_v - \xi_s)} \delta S_{v\mu},$$

$$v = 1, 2, \dots, N+1$$

$$\sum_{\mu=1}^N \gamma_{\mu}' \delta_{v\mu} + \Delta_1' \delta S_1' + \Delta_2' \delta S_2' = F - \sum_{s=1}^{v-1} \Delta S \delta S_s', \quad (1)$$

где  $N$  - число расчетных точек,  $\gamma$  - плотность вихревого слоя на контуре профиля,  $\Delta$  - плотность вихревого слоя в следе,  $\delta S$  - расстояние между расчетными точками,  $\tau$  - расчетный момент времени,  $t$  - шаг решетки,  $V_{\infty}$  - скорость невозмущенного потока,  $\alpha$  - угол между касательной к профилю в расчетной точке и осью  $OX$ ,  $\beta_{\infty}$  - угол между  $V_{\infty}$  и осью  $OX$ ,  $x, y$  - координаты расчетных точек,  $\xi, \eta$  - координаты текущих точек.

Считая источником нестационарности в целом стационарном потоке жидкости пульсацией скорости и давления стохастического характера, для количественной оценки параметров нестационарных явлений воспользуемся выражениями для турбулентных характеристик потока приведенными в [4] и применяем их в рассматриваемом примере.

В качестве тестовых задач для расчета нестационарных характеристик потока рассчитывались нестационарные характеристики потока за пластиной, поставленной перпендикулярно потоку, квадратом и цилиндром, которые потом сравнивались с имеющимися экспериментальными данными работ.

Полученные результаты показывают, что нестационарные характеристики ближнего следа за плохо обтекаемыми телами могут быть получены в первом приближении с использованием модели идеальной жидкости. Следует отметить, что некоторое различие этих результатов связано не только с неполной адекватностью математической модели моделируемому физическому явлению, но и с тем, что получение в эксперименте плоскопараллельного отрывного обтекания тел весьма затруднительно и в их формировании влияние вязкости может быть существенным.

На рис. 1-4 представлены результаты расчетов нестационарных гидродинамических характеристик потока в следе за решеткой профилей предвключенного р. к. осевого насоса КСВ 2200-150 в оптимальном режиме его работы. В численных опытах ставилась задача сравнить влияние формы профиля лопасти р. к. на величину нестационарных характеристик потока в следе. В одном варианте решетки профиль имел уступ, а во втором - контур профиля в зоне уступа плавно сопрягался с входной кромкой.

Расчетное поле скоростей в решетке профилей с уступом и точки. в

которых вычислялись нестационарные характеристики потока показаны на рис. 1. Исследовался режим выхода насоса на стационарный из состояния покоя за 5 оборотов.

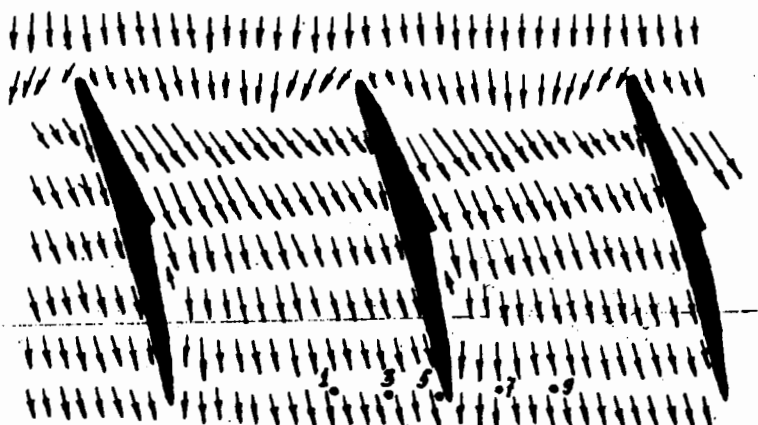


Рис.1. Поле скоростей в решетке профилей предвключенного насоса КСВ 2200-1500.

На рис.2-4 период  $T$  соответствует одному обороту, а цифры 1,3,5,7,9 - номерам точек, в которых вычислялись параметры. На графиках а) изображены зависимости для профиля без уступа, а на б) - с уступом. Решетка профилей имеет следующие геометрические параметры: радиус расчетного сечения  $R = 125$  мм, густота решетки  $t = v/t = 1,06$ .

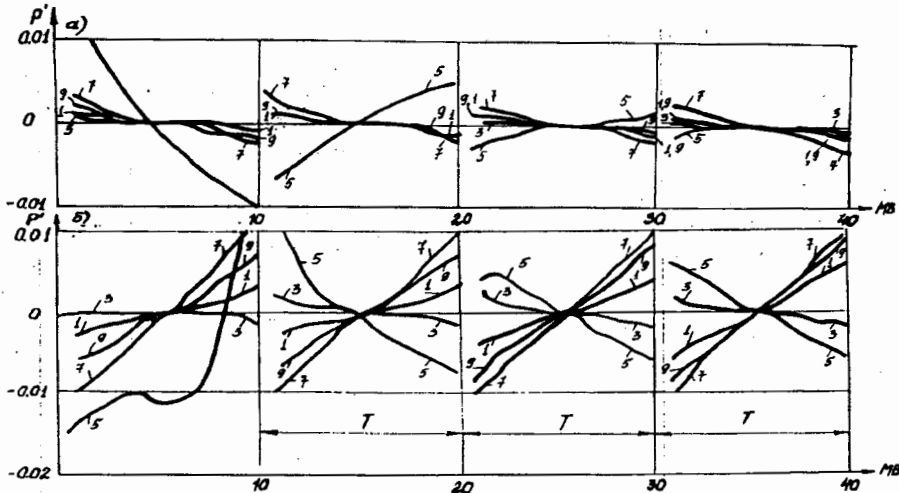


Рис.2. Изменение пульсаций давления в точках за р.к. насоса КСВ 2200-1500.

Анализ графиков, изображенных на рис.2-4, свидетельствует, что представленные на них результаты правильно отражают экспериментальный факт повышения нестационарных характеристик потока в следе за рабочим колесом с уступом по сравнению с вариантом гладкого контура.

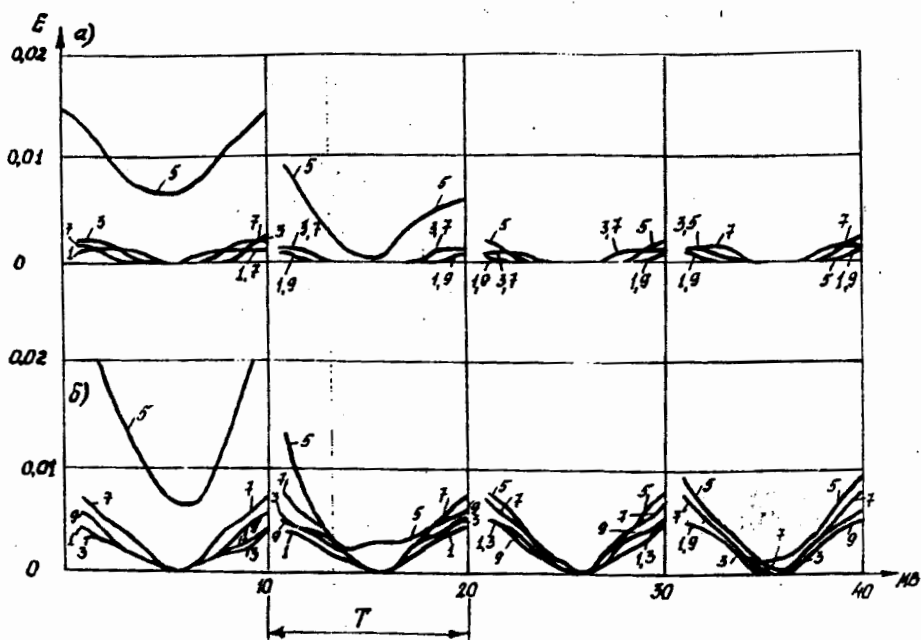


Рис. 3. Изменение энергии турбулентных пульсаций в точках р.к. насоса КСВ 2200-150.

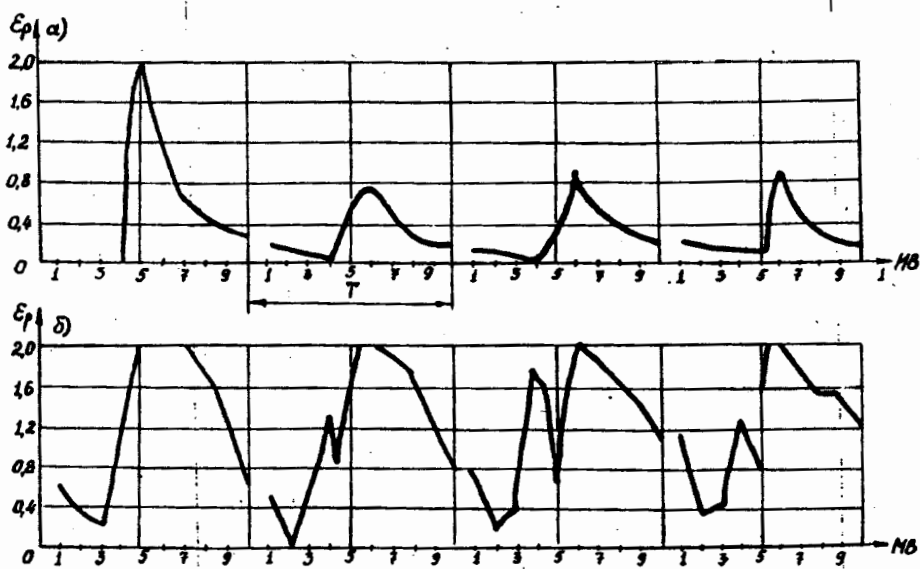


Рис. 4. Изменение степени интенсивности турбулентности в точках за р.к. насоса КСВ 2200-150.

## SUMMARY

The executive computation researches and comparison of given results with experimental testing examples allow to think that given in limits of customary model results of calculation of unstationary characteristics of stream behind the grating of profiles give a reliable information, on the whole about macrostructure of flow, near trace, greatscale turbulence and unstationary characteristics.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кемп П., Сирс У. Аэродинамические интерференции между движущимися рядами профилей. (Пер. с англ.) //Механика, -1954.- С.87-87.
2. Abe S. On the mutual interference between the impeller and guide vane of axial flow pumps or fans - "RISM Tohoku Univ.," 1956, N 53, p.31-54.
3. Белоцерковский С.М., Ништ М.И. Отрывное и безотрывное течение крыльев идеальной жидкостью.- М., 1978.- 350 с.
4. Веремеенко И.С., Косторной С.Д. Расчет нестационарных характеристик потока за кольцевым затвором гидравлической турбины //Гидравл. машины.- 1992.- Вып.26.-С.47-57.
5. Косторной С.Д. Расчет обтекания плоских решеток гидромашин неравномерным потоком //Изв. вузов. Энергетика. 1992.- N 1,с.98-105.

*Поступила в редколлегию 13 апреля 1994 года.*

УДК 699. 841.002.5: [621.311.25:621.039]

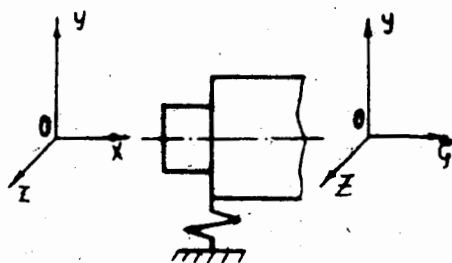
## ДИНАМИКА РОТОРОВ МАШИН ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ УДАРЕ

*Прядко С.В., Хворост В.А.*

Основным источником вибрации центробежных машин является ротор, из-за остаточной неуравновешенности совершающий в рабочем режиме вынужденные колебания с рабочей частотой. Однако, при аномальных режимах, вызванных, например, сейсмическим воздействием, возникают нестационарные колебания, которые могут привести к разрушению роторной системы. Поэтому, исследование представляющих опасность для центробежной машины вибраций - важная практическая задача.

В данной статье рассматриваются вызываемые сейсмическим воздействием переходные колебательные процессы роторов центробежной машины с распределенными параметрами и с произвольным числом сосредоточенных масс и упругодемпферных опор.

При построении расчетной схемы ротор центробежной машины принимаем как стержень ступенчатого сечения с распределенной массой и упругодемпферными опорами в местах расположения подшипников или щелевых уплотнений. Инерционные характеристики рабочих колес, муфт, внутренних упрочняющих дисков полагаем сосредоточенными, центр масс находится на оси вала.



**Рис.1** Схема сопряжения участков валопровода