

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
АППАРАТОВ ПРИ НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ

Неустановившийся режим работы аппарата с перемешивающим устройством, например период пуска, еще мало изучен. По пусковой мощности привода таких аппаратов, имеющей наибольший практический интерес, проводилось немало исследований. Однако до настоящего времени в литературе нет единого мнения по этому вопросу. Так, авторы [1 - 18] отмечают, что при пуске привода потребляется мощности значительно больше, чем в установившемся режиме работы. Это увеличение мощности объясняют инерционным влиянием перемешиваемой среды [5, 7, 13], а также влиянием инерционных сил вращающихся частей привода [8, 10, 12]. Коэффициент увеличения мощности при пуске привода зависит от свойств среды [4, 6, 11, 12-14] и типа перемешивающего устройства [3 - 5, 12, 15]. В работах [5, 7, 8, 10] авторы не рекомендуют увеличивать мощность электродвигателя с учетом пускового режима работы.

Таким образом, в литературе по вопросу расчета мощности привода в условиях пускового режима имеются противоположные рекомендации. Поэтому при проектировании приводов аппаратуры с перемешивающими устройствами это обуславливает определенные трудности в расчете и выборе необходимой мощности электродвигателей. В результате возникла необходимость исследования потребляемой мощности и осевых усилий, возникающих при работе мешалок в период пуска.

Известно [9], что осевая составляющая потока среды в аппарате, возникающая при вращении мешалок в жидкой среде, - косвенная гидродинамическая характеристика. Исследование данной характеристики вместе с расходом мощности позволит объяснить причину увеличения пускового крутящего момента и дополнительно выяснить взаимосвязь гидродинамических факторов среды с потребляемой мощностью при пуске.

В опытах использовали сосуд диаметром 300 мм с плоским днищем. На экспериментальном стенде был установлен электродвигатель типа АЭ1-4А мощностью 0,6 квт с частотой вращения $n = 23,5$ 1/с. Привод вала с перемешивающим устройством осуществлялся за счет передачи [20], позволяющей в широком диапазоне изменять скорость вращения вала мешалки. Исследовали работу пропеллерных мешалок с плоскими лопастями (угол наклона лопасти к плоскости ступицы $\alpha = 45^\circ$) и

нормализованных турбинных открытых перемешивающих устройств диаметром 80, 100 и 125 мм соответственно. Кроме того, исследовали несимметричные лопастные гиперболические мешалки, шарнирно соединенные с валом привода (длина лопасти $L = 125$ мм, ширина $b = 30$ мм). Конструкция несимметричной мешалки и методика замера крутящего момента изложены в работе [18].

Для эксперимента в качестве сред использовались вода, глицерин (плотность $\rho = 1250$ кг/м³), патока (плотность $\rho = 1410$ кг/м³). Вязкость глицерина и патоки изменяли, нагревая их до различной температуры.

Для замера осевых усилий сосудов устанавливали на одну из чаш рычажных весов. На другую чашу клали уравновешивающий груз и соединяли ее со стальной пластиной, снабженной тензодатчиками, сигнал от которой поступал на усилитель ТА-5 и регистрирующие приборы. Показания последних во время пуска фиксировались с разной скоростью кинокамерой "Красногорск".

Проведенные экспериментальные исследования позволили получить изменение крутящего момента $M_{кр}$ и осевого усилия $P_{ос}$ во время пуска для различных мешалок при перемешивании сред с неодинаковыми свойствами. На рис. 1 приведены данные экспериментальных исследований пропеллерной мешалки, работающей в глицерине с вязкостью $\mu = 0,62$ н·с/м² в аппарате без перегородок. Из рисунка видно, что при пуске крутящий момент на валу мешалки первоначально резко возрастает, затем, достигнув максимального значения, начинает уменьшаться, принимая в итоге постоянную величину. В данном случае отношение величины максимального крутящего момента к его установившемуся значению равно 1,38. Время достижения максимального значения крутящего момента равно 0,3 с, а установившегося значения этого момента - 1,25 с. Следует отметить, что крутящий момент при пуске в воздухе очень мал. Поэтому инерционные силы вала с мешалкой незначительны, и наличие максимума пускового крутящего момента в жидкости можно объяснить преодолением инерции перемешиваемой среды.

Осевое усилие при пуске (см. рис. 1) не имеет максимума и постепенно возрастает, достигая при установившемся режиме предельного значения в данных условиях. Это еще раз подтверждает гидродинамическую природу осевых сил, возникающих при вращении перемешивающих устройств.

Изменение $M_{кр}$ и $P_{ос}$ при пуске в воде турбинной открытой мешалки в аппарате приведено на рис. 2. Из рисунка следует, что при пуске турбинных мешалок $M_{кр}$ резко возрастает.

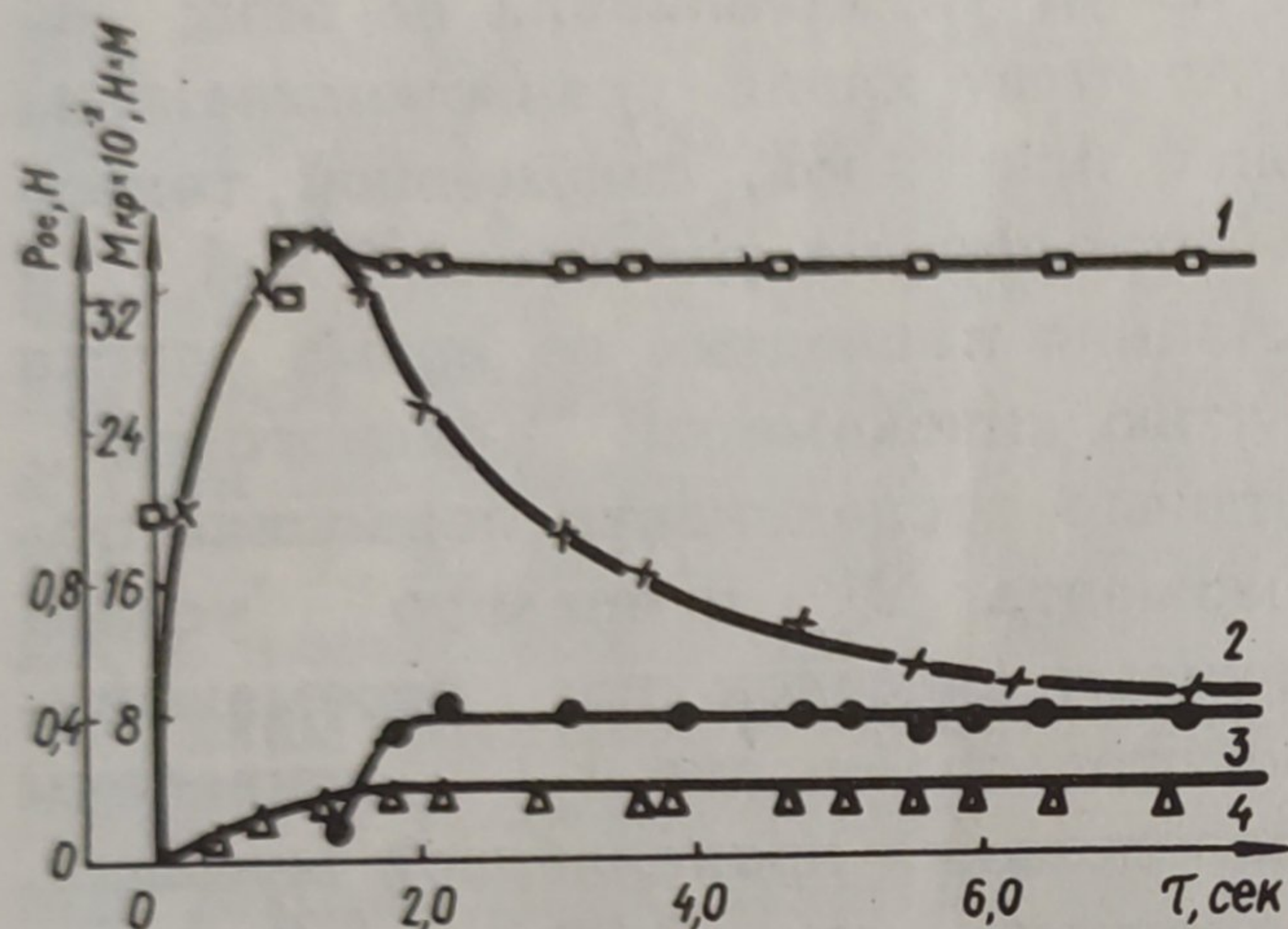
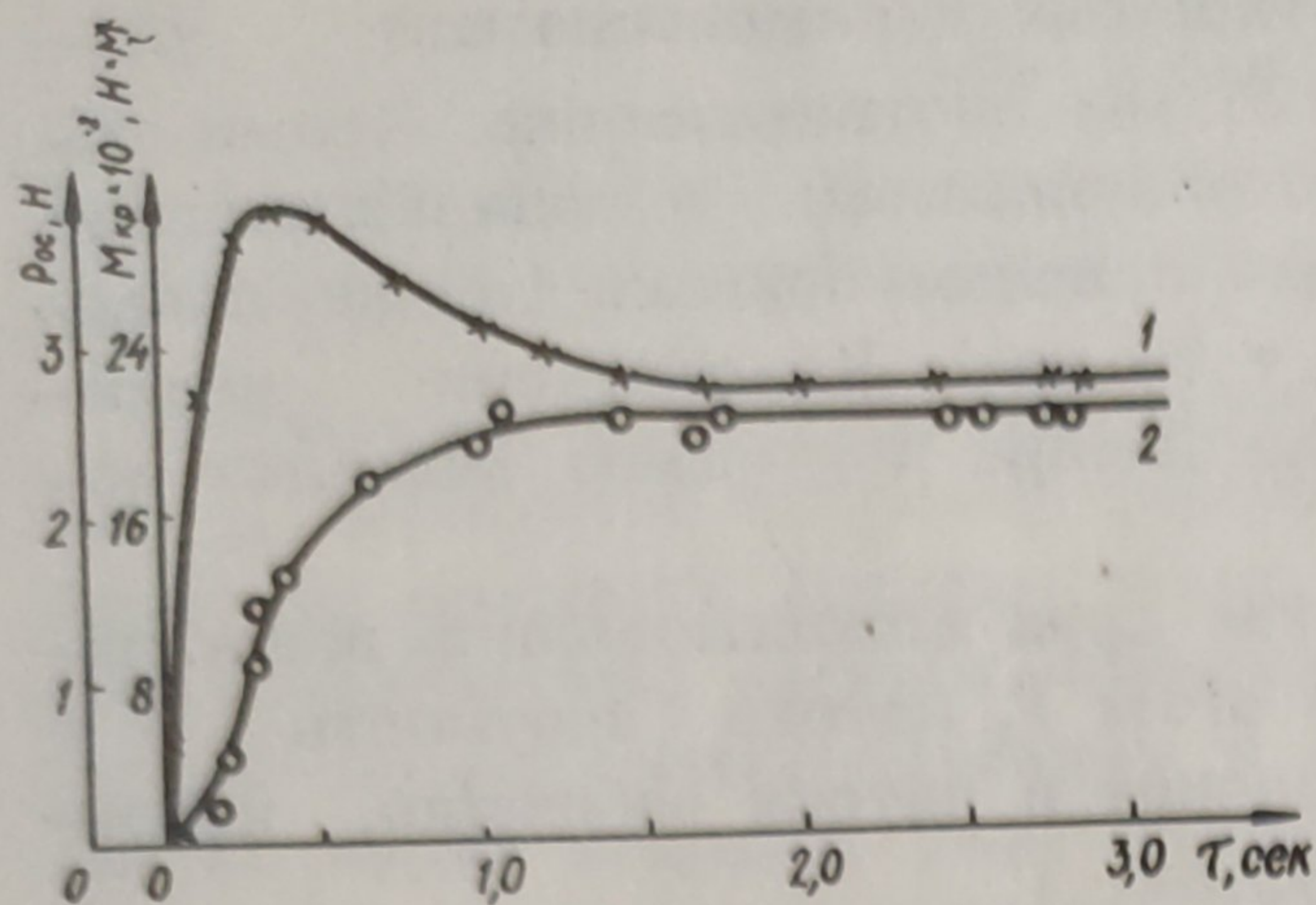


Рис. 1. Изменение во времени крутящего момента $M_{кр}$ (1) и осевого усилия $P_{ос}$ (2) при пуске пропеллерной мешалки:

$$\Gamma_D = \frac{D}{d_M} = 3,75;$$

$$n = 8,8 \text{ 1/с.}$$

Рис. 2. Изменение во времени крутящего момента (1,2) и осевого усилия (3,4) при пуске турбинной открытой мешалки:

$$\Gamma_D = \frac{D}{d_M} = 2,4;$$

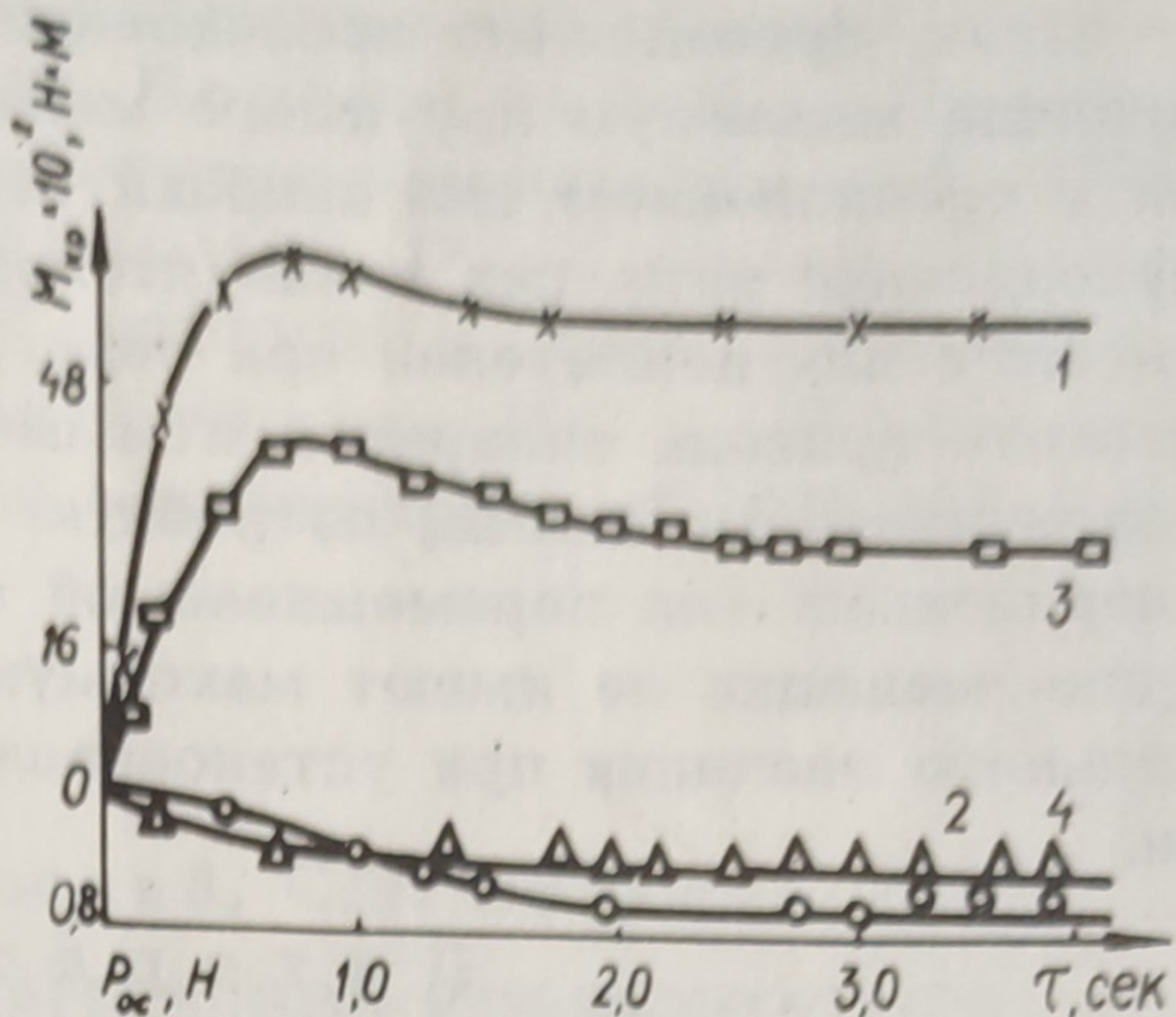
$n = 4,2 \text{ 1/с}$; 1,4 - в аппарате с 4 перегородками; 2,3 - без перегородок.

Причем кривые изменения $M_{кр}$ с момента пуска до максимального значения в аппаратах с перегородками и без перегородок совпадают. Это говорит о том, что силы инерции среды в момент пуска не зависят от конструкции аппарата. После достижения максимума величина крутящего момента на валу мешалки определяется гидродинамической структурой потока среды в аппарате. Из рисунка также выводим, что в аппарате с перегородками время, необходимое для установившегося значения крутящего момента и осевого усилия, значительно меньше, чем в аппарате без перегородок. Такое резкое изменение $M_{кр}$ в аппарате без перегородок связано с образованием центральной воронки. В этих условиях в установившемся процессе тратится меньше энергии, чем при пусковом режиме, который длится 6 и более секунд. Поэтому в данном случае целесообразно несколько увеличить мощность, рассчитанную в условиях установившегося режима.

Необходимо также отметить, что осевые усилия, возникающие при пуске турбинных мешалок в аппарате без перегородок, значительно выше (см. рис. 2), чем в аппарате с перегородка-

Рис. 3. Изменение во времени крутящего момента (1,3) и осевого усилия (2, 4) при пуске для несимметричной гиперболической шарнирно закрепленной мешалки:

$\Gamma_D = 2,4$; $n = 5,0$ 1/с; 1,2- в глицерине с вязкостью $\mu = 3,25$ н·с/м²; 3,4- в воде.



ми. Это справедливо и для пропеллерных мешалок. Таким образом, при проектировании привода осевое усилие нужно определять в условиях работы мешалок в аппарате без перегородок. С этой точки зрения данные работы [19] не представляют практического интереса.

Результаты исследований пусковых режимов при работе гиперболических несимметричных шарнирно закрепленных мешалок приведены на рис. 3, откуда видно, что их пусковые характеристики аналогичны характеристикам мешалок нормализованных аппаратов. Время преодоления сил инерции среды при пуске приблизительно равно 1 с. Опыты показали, что это время практически не зависит от конструкции перемешивающего устройства, а определяется соотношением $M_{кр}$ на валу мешалки и момента электродвигателя $M_{э}$, что согласуется с данными работы [10].

Отношение максимального пускового крутящего момента на валу к его установившемуся значению при работе мешалки в глицерине равно 1,15, а в воде — 1,4. Таким образом, с увеличением вязкости среды крутящий момент на валу мешалки при пуске приближается к крутящему моменту в установившемся рабочем режиме. Эти результаты хорошо согласуются с данными [1, 11, 13, 6, 14], полученными для нормализованных аппаратов.

Осевые силы, возникающие при работе гиперболических мешалок, отрицательны, т.е. равнодействующая осевой составляющей скорости потока среды направлена вверх, к приводу. Это доказывает устойчивое положение несимметричных шарнирно закрепленных мешалок при перемешивании вязких сред.

Итак, проведенные исследования показали, что при пуске привода максимум крутящего момента на валу возникает в связи с преодолением сил инерции перемешиваемой среды. Время преодоления этих сил незначительно и меньше времени, допускаемого для двигателей при перегрузках. Следовательно, при расчете привода аппаратов с мешалками нет необходимости увеличивать мощность, потребную на преодоление пусковых инерционных сил перемешиваемой среды. Осевые усилия при пуске мешалки не имеют максимума и достигают своего предельного значения при установившемся процессе работы мешалки.

Л и т е р а т у р а

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., 1960.
2. Канторович З.Б. Машины и аппараты химической промышленности. М., 1965.
3. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. М.-Л., 1970.
4. Козулин Н.А., Соколов В.Н., Шапиро А.Я. Примеры и задачи по курсу оборудования заводов химической промышленности. М.-Л., 1966.
5. Стахеев И.В. Основы проектирования процессов и аппаратов пищевых производств. Минск, 1972.
6. Чернобыльский И.И. Машины и аппараты химической промышленности. М., 1962.
7. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. М., 1966.
8. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. М., 1972.
9. Павлушенко И.С., Демьянов Е.М. - ЖПХ, 1966, 39, 7, 1492.
10. Керестеш Ш. - "Химическое машиностроение", 1963, № 3, 12.
11. Романков П.Г. Гидравлические процессы химической технологии. Л., 1948.
12. Kneule F., Ortner H. Anlaufvorgänge bei Rührwerken - "Chem.-Ing.-Techn.", 1968, 40, № 8, 395.
13. Кафаров В.В. Процессы перемешивания в жидких средах. М.-Л., 1948.
14. Штербачек З., Тауск П. Перемешивание в химической промышленности. М.-Л., 1963.
15. РТМ 144-66. Аппараты с перемешивающими устройствами вертикальные. Перемешивающие устройства механические. Область применения, методика расчета. М., 1969.
16. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л., 1970.
17. М Н 5874-66. Аппараты с перемешивающими устройствами вертикальные. Перемешивающие устройства механические. Ти-

пы, параметры. Конструкция и исполнительные размеры. Технические требования. М., 1970. 18. Бортников И.И., Павлушенко И.С. - "Химическое и нефтяное машиностроение", 1974, №9, 11. 19. Hrubý M., Zaloudik P. - Axialní silová složka míchadel. Chemický průmysl", 1965, 15/40, s.469-472. 20. Бортников И.И., Павлушенко И.С., Медведев В.Д. - "Химическое и нефтяное машиностроение", 1973, №7, с. 4.