

5. Семененко Е.В. Расчет параметров зумпфа насосного агрегата гидротранспортной установки // *Техническая механика*. Сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины.-Днепропетровск-1999.-Вып. 12.-С 77-81.
6. Захаров О.В. К вопросу о кавитации в центробежном насосе // *Труды ВНИИгидромаша*, 1967. - Вып. №36. - С. 3 - 14.
7. Кириллов В.В. Кавитационные эрозии и гидроабразивный износ грунтовых насосов // *Современные технологии добычи и переработки минерального сырья*. - М.: ВНИИПИИстройсырье, 1984. - С. 137 - 140
9. Карелин В.Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах. - М.: Машиностроение, 1975. 336 с.
10. Животовский Л.С., Смоиловская Л.А. Техническая механика гидросмесей и грунтовые насосы - М.: Машиностроение, 1986. - 224 с.

УДК 522.512:621.765

Б.А. Блосс, Е.В. Семененко, В.В. Саенко

СПОСОБ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НАСОСОВ НА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ

Пропонується засіб механічного діагностування відцентрових насосів збагачувальних підприємств, який дозволяє без розібрання насосу оцінити здатність насосного агрегату забезпечити регламентований процес збагачення. Запропоновано методику розрахунку об'ємного навантаження для здійснення засоба та проведена оцінка його економічної ефективності.

В настоящее время существует необходимость в обеспечении высокого качества обогащения, которое обусловлено прежде всего стабильностью процесса [1-4]. Этот фактор накладывает определенные ограничения на режим работы обогатительного оборудования, причем, важным условием является стабильная работа насосов.

По многим причинам существующая на большинстве предприятий обогатительной отрасли система планово-предупредительных ремонтов не может обеспечить своевременное обнаружение неисправности и предупредить снижение качества обогащения [5,6]. Поэтому все чаще используется стратегия технического обслуживания и ремонта по техническому состоянию, для которой характерно проведение ремонтных и профилактических работ не после выработки оборудованием некоторого установленного ресурса, а по достижении оборудованием оговоренного технического состояния. Такой подход позволяет не только снизить затраты на поддержание оборудования в работоспособном состоянии, но и проводить своевременную настройку оборудования.

Первостепенным вопросом при реализации стратегии технического обслуживания по состоянию является вопрос технического диагностирования эксплуатирующегося оборудования. Применяемые для этого средства и способы технического диагностирования должны за сравнительно небольшой промежуток времени обеспечивать надежную оценку технического состояния оборудования непосредственно на месте его эксплуатации без разборки.

Одной из причин изменения расхода при подаче обогащаемого материала в обогатительные аппараты центробежными насосами является износ рабочего колеса и элементов проточной части [7-10]. В результате этого изменяется не только подача насоса, но и его напор, и потребляемая электродвигателем мощность. Таким образом, по изменению какого-либо из указанных параметров в

процессе эксплуатации насоса можно делать заключение о техническом состоянии аппарата и о необходимости проведения технического обслуживания.

Рассмотрим типичную насосную установку обогатительного предприятия (рисунок 1). Она состоит из зумпфа (1), насосного агрегата (2), всасывающего (3) и нагнетательного (4) трубопроводов и обогатительного аппарата (5). Для контроля режима работы такой системы необходимы амперметр на щите управления электродвигателем насоса и манометры в начале (6) и в конце (7) нагнетательной магистрали.

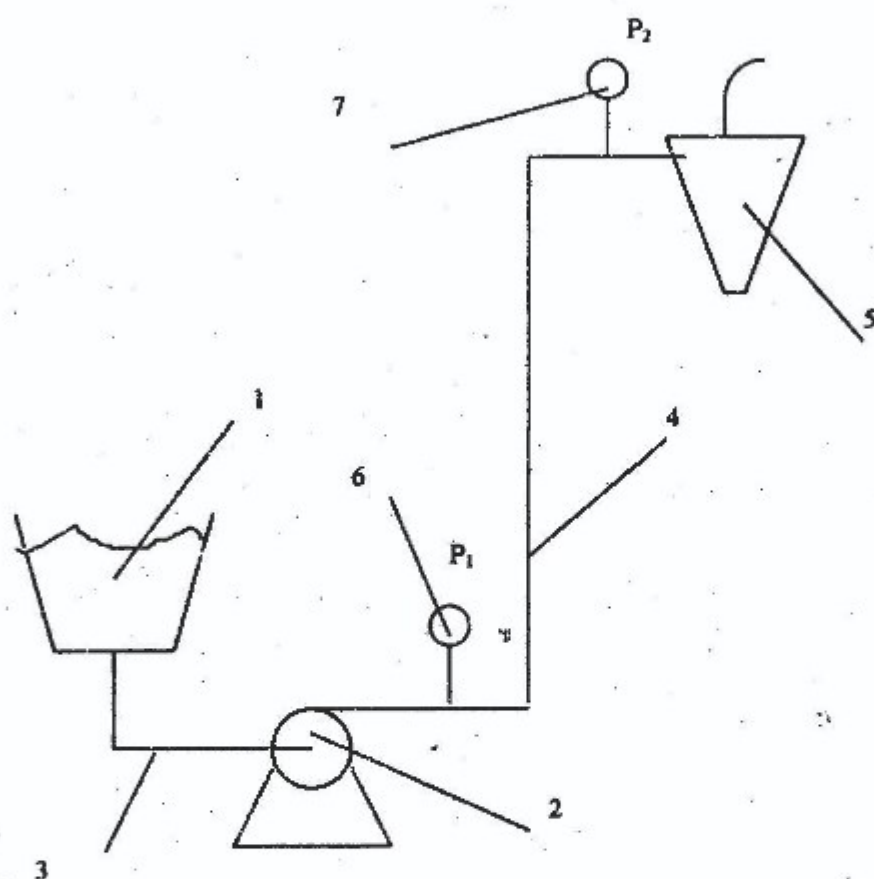


Рис. 1 - Насосная установка на обогатительном предприятии

Это минимальный набор приборов, который позволяет оперативно оценивать техническое состояние всей системы. Показания амперметра характеризуют состояние электродвигателя, а показания двух манометров - гидравлические параметры: непосредственно - напор трубопровода, косвенно - подачу насоса. После установки нового рабочего колеса или нового насоса режим работы корректируется с целью обеспечения регламентируемых параметров процесса обогащения. Замеренные при этом показания приборов служат впоследствии базовыми в процессе эксплуатации. Если оператор увидит, что текущие показания приборов отличаются от базовых на некоторую величину, то он делает вывод о необходимости проведения мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту.

Техническое диагностирование и настройка оборудования производится, как правило, в специально отведенное время, когда обогатительное предприятие не работает. На большинстве обогатительных фабрик это первая половина дня, когда с оборудованием работают ремонтные бригады [3,7]. В этом случае запуск насоса для технического диагностирования с подачей в обогатительный аппарат исключается. Поэтому для каждого насосного агрегата, подлежащего техническому диагностированию, необходимо обеспечить возможность работать на индивидуальную магистраль независимо от обогатительного оборудования или других насосных агрегатов.

На рисунке 2 показана предлагаемая система для технического диагностирования насосных агрегатов обогатительных фабрик. Для организации индивидуальной магистрали в напорный трубопровод (1) насосного агрегата (2) вваривается дополнительный трубопровод (3), который направляет транспортируемую среду в зумпф (4) этого же насосного агрегата. На напорном трубопроводе чуть выше места врезки устанавливается задвижка (5), которая необходима для отсоединения от работающего насоса при техническом диагностировании обогатительного оборудования. В рабочем режиме насосной установки задвижка (5) полностью открыта, а дополнительный трубопровод отсекается от основной магистрали задвижкой (6). На выходе из дополнительного трубопровода устанавливается задвижка (7), которая служит для изменения гидравлического сопротивления трубопровода при техническом диагностировании. Техническое состояние насосного агрегата при проверке оценивается по показаниям манометров (8) и (9), установленных на выходе из дополнительного трубопровода и на входе в нагнетательный.

Для подбора режимов работы насосного агрегата в рабочем режиме и во время технического диагностирования необходимо, чтобы показания соответствующих манометров были одинаковыми. Поэтому после установки нового рабочего колеса и настройки насоса на нужный режим работы осуществляется настройка системы технического диагностирования. Для этого перекрываются задвижки (5) и (7), задвижка (6) полностью открывается, запускается насос, и постепенным открытием задвижки (6) добиваются, чтобы показания манометра на выходе из дополнительного трубопровода совпадали с показаниями манометра на выходе из рабочей магистрали в рабочем режиме. Это положение шибера задвижки фиксируется. В дальнейшем для оценки технического состояния включают насос, закрыв задвижку (5), и следят за отклонениями показаний манометра (8) от регламентированного значения.

Очевидно, что описанная система технического диагностирования применима не на всех насосных установках, так как длины дополнительного и нагнетательного трубопроводов могут сильно различаться, а возможности компенсации разницы в потерях напора посредством задвижки и выбора меньшего диаметра трубопровода ограничены.

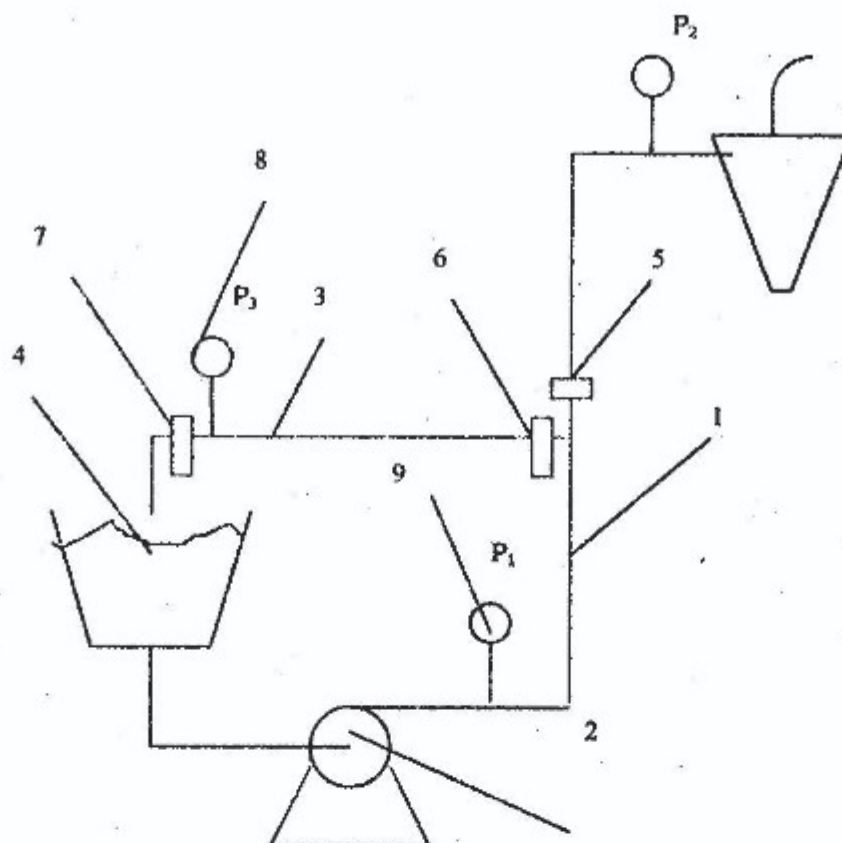


Рис. 2 - Система для технического диагностирования насосных агрегатов обогатительных фабрик

Исследуем возможность применения предлагаемой системы технического диагностирования. Расходно-напорная характеристика дополнительного трубопровода запишется в виде [2, 8]

$$\frac{P_1 - P_3}{\gamma} = z_b Q^2 + H_b,$$

где P_1, P_3 - давление соответственно на выходе из насоса и на выходе из дополнительного трубопровода; γ - удельный вес перекачиваемой гидросмеси; z_b - гидравлическое сопротивление дополнительного трубопровода; Q - подача насоса; H_b - разность геодезических отметок входа в нагнетательный трубопровод и выхода из дополнительного трубопровода.

При подобии режимов работы насосной установки левая часть последнего выражения должна быть равной

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma},$$

где P_1, P_2 - давление соответственно на выходе из насоса и на выходе из основного трубопровода.

После некоторых преобразований получим необходимое местное гидравлическое сопротивление дополнительного трубопровода:

$$z_b = \alpha, \text{ где } \alpha = \left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma} - H_b \right) \frac{g\pi^2 D^4}{8Q^2}.$$

При этом параметр α является характеристикой режима работы установки.

Очевидно, что рассматриваемая величина является суммой гидравлических сопротивлений поворотов трубопровода, выхода из него, резкого сужения сечения потока при входе, а также гидравлического сопротивления регулируемой задвижки, и ее значения ограничены. Специальные исследования соотношения величин перечисленных гидравлических сопротивлений показывают, что сопротивлением от внезапного сужения потока в этом случае можно пренебречь по сравнению с другими составляющими. Таким образом, во время технического диагностирования возможность добиться подобия режимов работы за счет выбора меньшего диаметра трубопровода при минимально открытой задвижке определяется из выражения

$$\zeta = \epsilon^4 \alpha - \frac{\lambda \bar{l}}{\epsilon}, \quad (1)$$

$$\bar{l} = \frac{L}{D}, \lambda = \frac{0,3086}{\lg^2(0,1 Re \epsilon)}, \epsilon = \frac{d}{D},$$

где L, d - длина и диаметр дополнительного трубопровода; Re - число Рейнольдса; D - диаметр основного трубопровода.

На рисунке 3 представлена зависимость граничного значения ϵ от параметра α . Реально возможные значения относительного диаметра дополнительного трубопровода не могут быть меньше этого значения.

Анализ графика показывает, что данная зависимость с необходимой точностью может быть аппроксимирована следующей функцией:

$$\epsilon = \frac{0,435}{\exp(0,00051\alpha)} + 0,3314.$$

При проведении расчетов по формуле (1) коэффициент гидравлических сопротивлений определялся для среднего значения числа Рейнольдса из характерного для данных установок диапазона $Re=10^3 \dots 10^6$, так как максимальное расхождение результатов расчетов в этом диапазоне не превышает 10^{-5} .

В случае, когда проведение технического диагностирования насосного агрегата при помощи такой системы невозможно, оценка технического состояния

может быть произведена по величине напора, создаваемого насосом при нулевой подаче. Для этого напорный трубопровод установки необходимо оборудовать задвижкой и манометром. Если параметры зумпфа и всасывающего трубопровода остаются неизменными, то можно использовать даже не напор, а величину давления в нагнетающем трубопроводе.

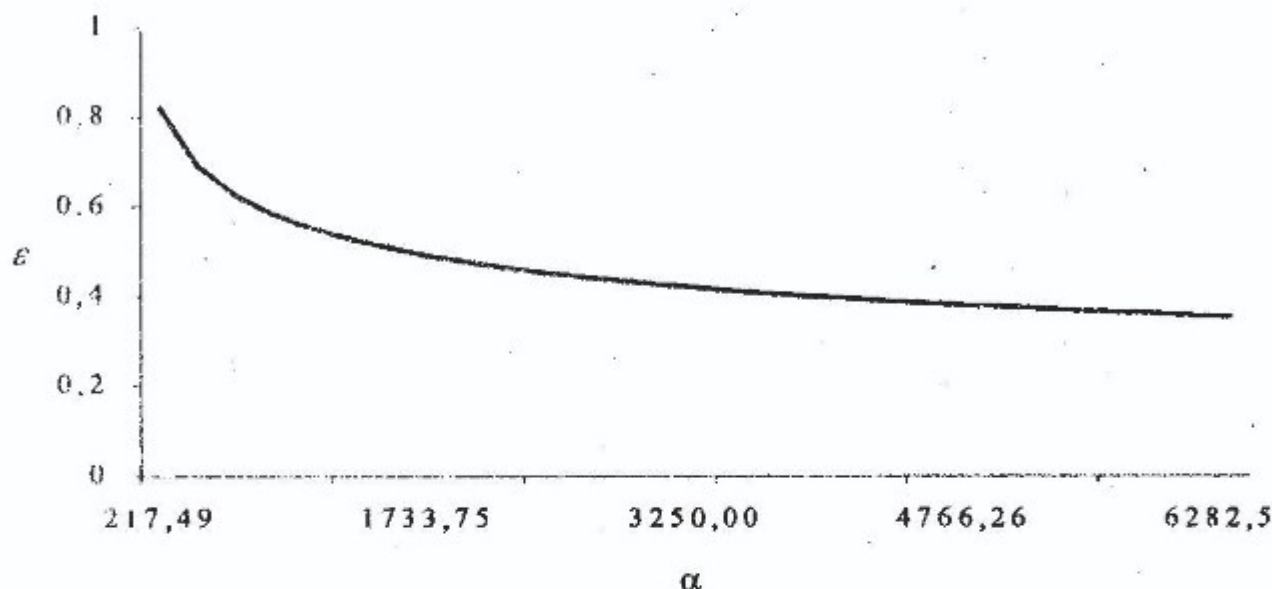


Рис. 3 - Допустимые значения величины ε

При техническом диагностировании насос запускается с закрытой задвижкой. Если предельно допустимое снижение подачи задано, то ему будет соответствовать следующее относительное снижение напора при нулевой подаче

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta Q}{Q} \left(2 - \frac{\Delta Q}{Q} \right),$$

где ΔQ , ΔH - абсолютные изменения соответственно расхода и напора; H, Q - исходные величины напора и расхода.

Проведем оценку экономической эффективности стратегии технического обслуживания по состоянию для данного случая. Основными затратами при эксплуатации насосного агрегата являются затраты на потребляемую электроэнергию и затраты на поддержание агрегата в работоспособном состоянии.

При использовании системы планово-предупредительных ремонтов затраты на поддержание работоспособного состояния состоят из оплаты труда ремонтной бригады, которая через определенные промежутки времени производит разборку и сборку насоса. Общие затраты в этом случае определяются по формуле

$$u = C_1 N (R + k^3 \Delta T) + C_2 \left(\frac{R}{T_m} + 2 \right) + C_3 S Q k \Delta T,$$

где C_1 - стоимость электроэнергии; N - мощность насоса; R - ресурс насоса; T_m - регламентируемый межремонтный период; C_2 - стоимость проведения ПНР; C_3 - стоимость потерь концентрата в результате работы обогатительного оборудования в ненормальном режиме; ΔT - длительность рабочей смены; k - отношение диаметров рабочего колеса в изношенном состоянии и в исходном; S - средняя объемная концентрация гидросмеси.

Ненормальный режим работы обогатительного оборудования возникает тогда, когда насосный агрегат не обеспечивает необходимой подачи или напора. Это вполне возможно, так как износ рабочего колеса насоса может достигнуть критического значения в промежутке между планово-предупредительными ремонтами. В результате будет иметь место потеря товарной продукции.

В случае применения стратегии технического обслуживания по состоянию потери концентрата по причине изменения параметров насосного оборудования отсутствуют, так как ежедневно перед запуском оборудования осуществляется его техническое диагностирование. Одновременно отпадает необходимость в периодической разборке насоса, и затраты времени на работу ремонтной бригады ограничиваются временем замены изношенной детали. В этом случае затраты при эксплуатации насосного агрегата определяются по формуле

$$u_T = C_1 N \left(R + \frac{R}{\Delta T} T_d \right) + 2C_2,$$

где T_d - время технического диагностирования.

Очевидно, что стратегия технического обслуживания по состоянию будет экономически выгодной, если выполняется условие

$$\Delta u = u - u_T = C_1 N \left(k^3 \Delta T - \frac{R}{\Delta T} T_d \right) + C_2 \frac{R}{T_m} + C_3 S Q k \Delta T > 0.$$

Отсюда получаем выражение для оценки допустимой длительности ежедневного технического диагностирования:

$$\tau_d = \frac{T_d}{\Delta T} < [\tau_d] = E_1 + E_0 \tau; \quad (2)$$

$$E_1 = k(E_2 + k^2); \quad E_1 = \frac{C_2}{C_1 N T_m}; \quad E_2 = \frac{C_3 S Q}{C_1 N}; \quad \tau = \frac{\Delta T}{R}.$$

На рисунке 4 показаны зависимости данного параметра от ресурса рабочего колеса при различной допустимой степени его износа, рассчитанные по формуле (2) для реальных условий обогатительных фабрик Украины. Из рисунка видно, что допустимое время технического диагностирования не должно превышать 0,5...3 рабочей смены, то есть от 4 до 24 часов. В реальных условиях обогатительных фабрик для технического диагностирования достаточно 0,5 часа [6]. Таким образом, применение предлагаемой системы технического диагностирования экономически оправдано.

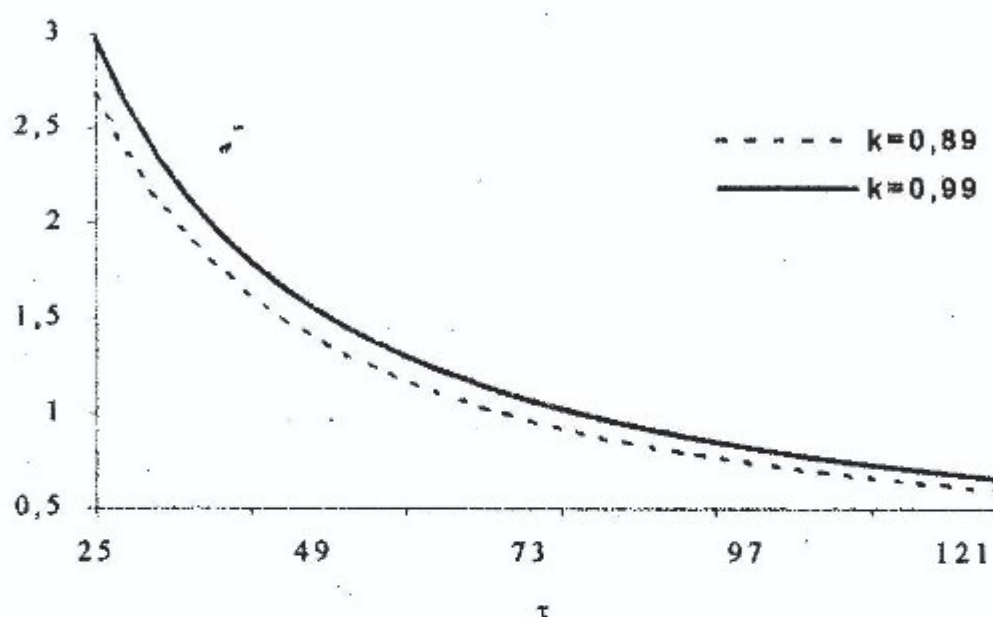


Рис. 4 - Зависимость допустимого значения относительного времени технического диагностирования от ресурса насоса

Проведем оценку экономической эффективности данного предложения. Относительное снижение затрат на эксплуатацию насоса при использовании стратегии технического обслуживания "по состоянию" в сравнении с системой ППР может быть вычислена по формуле

$$\frac{\Delta u}{u} = \frac{[\tau_d] - \tau_d}{[\tau_d] + 1} \quad (3)$$

Графические зависимости относительного снижения затрат от длительности диагностирования, вычисленные по формуле (3) при различных значениях параметра $[\tau_d]$, приведены на рисунке 5.

Из приведенного рисунка 5 видно, что в некоторых случаях экономический эффект за счет применения системы технического диагностирования может достигать 60...80% затрат при эксплуатации по старой схеме технического обслуживания. При этом характер функциональной зависимости экономического эффекта от длительности диагностирования остается одинаковым при различных значениях параметра $[\tau_d]$. Величина допустимого значения относительного

времени технического диагностирования определяет количественные характеристики этой зависимости, а относительное снижение затрат, определяемое из выражения (3), показывает экономический эффект от использования предлагаемой системы технического диагностирования.

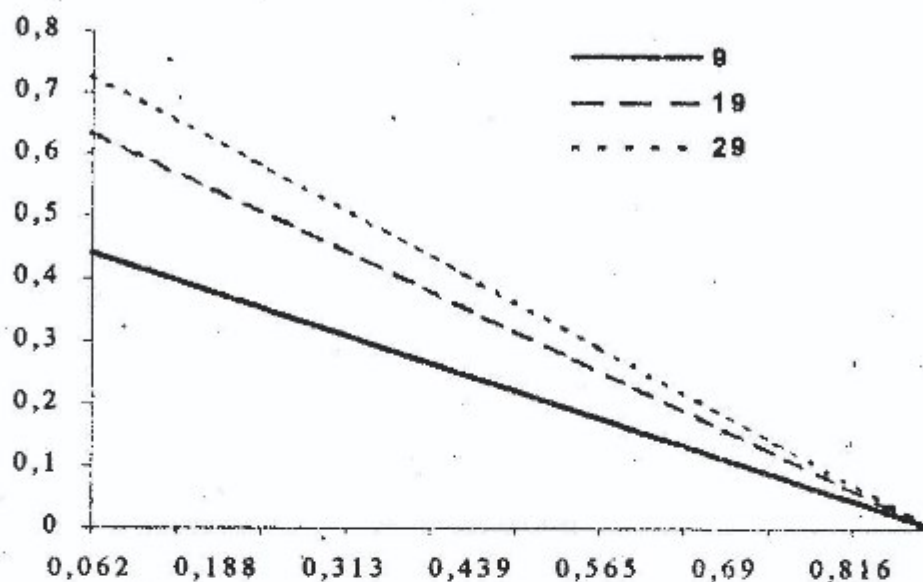


Рис. 5 - Зависимость относительного снижения затрат от длительности диагностирования при различных значениях параметра $[та]$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириарский А.С., Семенов Е.В. Влияние напорного гидротранспортирования на параметры обогащения // Обогащения корисних копалин, - Днепропетровск, 1998, - Вып. 2(43). - С. 112 - 117.
2. Евдокимов П.Д., Сазонов Г.Т. Проектирование и эксплуатация хвостовых хозяйств обогащательных фабрик. - М.: Недра, 1978. - 440 с.
3. Самылин Н.А., Буговецкий В.С. Водо-воздушное хозяйство углеобогащательных фабрик. - М.: Недра, 1982. - 197 с.
4. Фоменко Т.Г. Гравитационные процессы обогащения полезных ископаемых. - М.: Недра, 1966. - 332 с.
5. Гаркушин Ю.К., Смирнов В.В. Надежность и эффективность оборудования углеобогащательных фабрик. - Днепропетровск: Полиграфист, 1999. - 182 с.
6. Окопнишников А.И., Запсельский В.Я. Эксплуатация и ремонт оборудования на углеобогащательных фабриках. - М.: Недра, 1976. - 288 с.
7. Джвардзиешвили А.Г. Системы трубопроводного транспорта горно-обогащательных предприятий. - М.: Недра, 1986. - 384 с.
8. Дмитриев Г.П., Махарадзе Л.И., Гочиташвили Т.Ш. Напорные гидротранспортные системы. - М.: Недра, 1991. - 304 с.
9. Кириллов В.В. Кавитационные эрозия и гидроабразивный износ грунтовых насосов // Современные технологии добычи и переработки минерального сырья. - М.: ВНИИПИИстройсырье, 1984. - С. 137 - 140.
10. Животовский Л.С., Смольовская Л.А. Техническая механика гидросмесей и грунтовые насосы. - М.: Машиностроение, 1986. - 224 с.