

Рис. 4. Блок-схема алгоритма расчета целевой функции с корректировкой долиности ЭНУ-Д методом Ньютона

оптимизации показывает, что она позволяет обеспечить снижение приведенных затрат на 10.15%. При этом их снижение достигается преимущественно за счет уменьшения стоимости терморегулятора, хотя материалоемкость электродного нагревателя ЭНУ несколько увеличивается. Предложенная технико-экономическая оптимизация позволяет также определить ЭНУ, для которых целесообразно использование предложенных ЭНУ-Д.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Погырин Л.С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок / Л.С. Погырин. – М.: Энергия, 1978. – 416 с.
- 2 Сеа Ж. Оптимизация. Теория и алгоритм / Ж. Сеа. – М.: Мир, 1973. – 244 с.
- 3 Прищепов М.А. Моделирование характеристик емкостного электродного нагревателя-датчика для нагрева термолабильных сред / М.А. Прищепов, И.Г. Ружковский // Агропанорама, №6, 2004. – С. 15–22.

УДК 621.928.37

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РЕГУЛИРУЕМОГО ГИДРОЦИКЛОНА

Е.И. Мажугин, канд.техн. наук, доцент, А.Л. Казаков, ассистент (УО БГСХА)

К числу важнейших операций ремонтного производства относятся моечно-очистные операции. Эти операции повышают качество продукции и культуру ремонтного производства. Технология очистки деталей и агрегатов машин, применяемая в сельскохозяйственном ремонтном производстве, предусматривает широкое применение водных растворов синтетических моющих средств (СМС) в качестве очищающей среды. Растворы СМС по мере использования направляются в канализацию, что ведет к большой нагрузке на очистные сооружения и отрицательно сказывается на окружающей среде.

Одним из путей снижения вредного воздействия на окружающую среду отработавших свой срок растворов СМС является их технологическая очистка. Как показали исследования [1, 2], правильно организованная технологическая очистка помимо снижения техногенной нагрузки на окружающую среду позволяет уменьшить

расход воды и компонентов СМС, сократить затраты на обслуживание моечного оборудования, повысить культуру ремонтного производства и качество ремонта.

Одним из применяемых методов очистки растворов СМС является центробежный, осуществляемый с использованием сепараторов, центрифуг, гидроциклонов. Наиболее простым способом центробежной очистки является гидроциклонная очистка, так как гидроциклоны по сравнению с сепараторами и центрифугами проще по конструкции, менее энергоемки, проще в техническом обслуживании.

Важнейшей характеристикой гидроциклона является его производительность, которая используется при технологических и конструкторских расчетах, а также при расчете ожидаемых результатов тонкости очистки жидкости.

Производительность гидроциклона, то есть расход

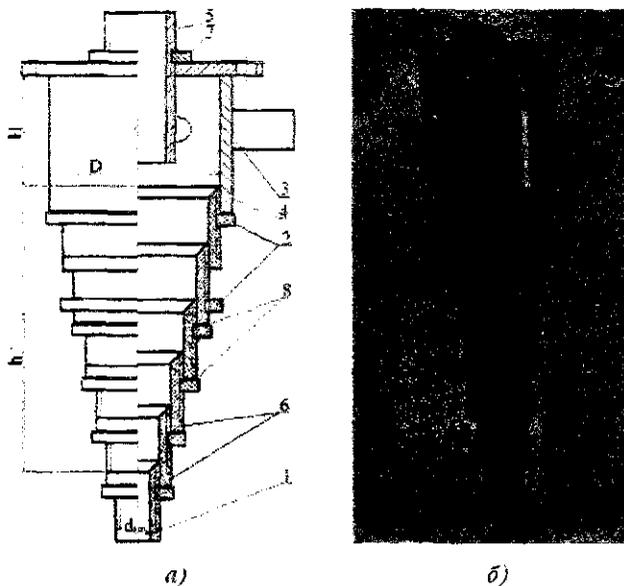


Рис. Регулируемый гидроциклон: а) – конструктивная схема; 1 – шламовая насадка; 2 – стопорные гайки; 3 – питающий патрубок; 4 – цилиндрическая часть; 5 – сливной патрубок; 6 – регулируемые цилиндрические кольца; 7 – контргайка; 8 – прокладки; б) – общий вид

очищаемой жидкости через сливной патрубок и шламовую насадку, зависит от технологического параметра: давления питания гидроциклона и основных конструктивных параметров его. К основным конструктивным параметрам относятся: диаметр цилиндрической части корпуса, угол конусности гидроциклона, высота цилиндрической части гидроциклона, диаметры шламовой насадки и питающего патрубка.

Нами разработана, изготовлена и запатентована [3] конструкция регулируемого гидроциклона (см. рис.), которая позволяет проводить исследования по оптимизации параметров гидроциклона.

Гидроциклон состоит из питающего патрубка 3, тангенциально прикрепленного к цилиндрической части 4, которая накрыта крышкой. В центре крышки на резьбе установлен сливной патрубок 5, закрепленный контргайкой 7. В цилиндрическую часть ввернута конусная часть, состоящая из набора последовательно уменьшающихся в диаметре регулируемых цилиндрических колец 6 с резьбой. В вершине конусной части установлена шламовая насадка 1. Взаимное расположение колец 6 фиксируется стопорными гайками 2. Для предотвращения возможной утечки жидкости между кольцами 6 и стопорными гайками 2 установлены прокладки 8.

Такая конструкция гидроциклона позволяет изменять рабочую высоту цилиндрической части, за счет введения верхнего кольца конусной части внутрь цилиндрической, угол конусности и при необходимости устанавливать шламовые насадки различных размеров. Изменяя эти параметры, можно менять внутренний объем гидроциклона, от которого зависит время пребывания очищаемой жидкости в гидроциклоне.

Внутренний диаметр гидроциклона D был принят

равным 83 мм, что близко к размерам стандартных гидроциклонов. На основании существующих рекомендаций [4] диаметр питающего патрубка был принят равным 20 мм.

Угол конусности α регулируемого гидроциклона рассчитывался по зависимости:

$$\alpha = \arctg D - d_{\text{шл}} / 2h, \quad (1)$$

где h – высота конусной части.

Работа гидроциклона исследовалась на лабораторной установке [5], позволяющей изменять и контролировать давление питания гидроциклона и температуру жидкости.

Для оценки влияния переменных факторов на производительность гидроциклона и выявления оптимального их сочетания был проведен многофакторный эксперимент 2^4 по существующей методике [6]. В нашем случае число переменных факторов было принято равным четырем:

- x_1 – давление питания на входе в гидроциклон, $P_{\text{пит}}$, МПа;
- x_2 – угол конусности гидроциклона, α , град;
- x_3 – высота цилиндрической части гидроциклона, H , мм;
- x_4 – диаметр шламовой насадки, $d_{\text{шл}}$, мм.

Критерием выбора значимых факторов послужил анализ литературных источников, из которого следует, что на качественные показатели работы гидроциклонов наибольшее влияние оказывают вышеприведенные параметры его.

Пределы варьирования переменных факторов выбирались из следующих соображений. Давление питания гидроциклонов в большинстве используемых установок составляет от 0,02 до 0,05 МПа [7], то есть $x_1 = 0,02 \dots 0,05$. В стандартных гидроциклонах угол конусности обычно равен 20° . Угол конусности регулируемого гидроциклона при максимальном ввинчивании регулируемых цилиндрических колец 6 (см. рис.) составляет 30° , при минимальном ввинчивании – 15° . То есть x_2 имеет минимальное значение 15° и максимальное – 30° . Высота цилиндрической части гидроциклона H (x_3) может изменяться за счет ввинчивания или вывинчивания конусной части (см. рис.). При полностью ввинченной конусной части x_3 оставляет 100 мм, при минимальном ввинчивании – 150 мм. Диаметр шламовой насадки может иметь минимальное значение 8 мм и максимальное – 10 мм.

Производительность гидроциклона в опытах находили как расход жидкости через сливной патрубок при стабильном режиме работы гидроциклона.

С учетом количества принятых переменных факторов для описания исследуемого процесса принималось следующее уравнение регрессии:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{14} x_1 x_4 + b_{23} x_2 x_3 + b_{24} x_2 x_4 + b_{34} x_3 x_4 + b_{123} x_1 x_2 x_3 + \quad (2)$$

$b_{124} x_1 x_2 x_4 + b_{234} x_2 x_3 x_4 + b_{134} x_1 x_3 x_4 + b_{1234} x_1 x_2 x_3 x_4$,
где x_1, x_2, x_3, x_4 – значения переменных факторов;

b_0 - свободный член уравнения регрессии, равный выходу исследуемого процесса при нулевом уровне переменных факторов;

b_1, b_2, b_3, b_4 - коэффициенты регрессии соответствующих факторов, указывающие на влияние того или иного фактора на изучаемый процесс;

$b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{23}, b_{24}, b_{34}$ - коэффициенты регрессии, указывающие на двойное взаимодействие факторов;

$b_{123}, b_{124}, b_{134}, b_{134}$ - коэффициенты регрессии, указывающие на тройное взаимодействие факторов;

b_{1234} - коэффициент, указывающий на взаимодействие четырех факторов.

На основании соответствующей матрицы планирования для принятых пределов варьирования переменных факторов был составлен план полного факторного эксперимента и осуществлена его реализация.

После определения и оценки значимости коэффициентов регрессии мы получили следующее уравнение регрессии:

$$\hat{Y} = 55,35 + 12x_1 - 1,4x_2 + 0,98x_3 - 0,7x_2x_3 - 0,55x_2x_4 - 0,57x_2x_3x_4 + 0,81x_1x_2x_3x_4 \quad (3)$$

Далее проводился анализ уравнения (3). Принималась гипотеза о линейности системы, то есть гипотеза о том, что производительность гидроциклона может быть описана уравнением без квадратичных членов и, возможно, без членов, учитывающих парные взаимодействия. Проводилась оценка значимости коэффициентов регрессии при членах высших порядков. Для этого ставился дополнительный опыт при нулевом уровне всех факторов [6]. Значения исследуемых факторов, на нулевом уровне, принимались следующие: давление на входе $P_{\text{вх}} = 0,035$ МПа; угол конусности $\alpha = 22^\circ$; высота цилиндрической части $H = 125$ мм; диаметр шламовой насадки $d_{\text{ш}} = 8$ мм.

Выполнив опыт, мы получили уравнение регрессии следующего вида:

$$\hat{Y} = 61 + 8,4x_1 - 0,4x_2 + 0,4x_1x_2 \quad (4)$$

После определения значимости коэффициентов регрессии уравнения (4) устанавливался окончательный вид уравнения, описывающего производительность гидроциклона [8]. В результате обработки оказалось, что значимым является только коэффициент при x_1 и уравнение регрессии имеет вид

$$\hat{Y} = 61 + 8,4x_1 \quad (5)$$

Для удобства использования уравнения (5) при вычислении производительности гидроциклона с учетом точности измерений преобразуем его к виду, позволяющему непосредственно подставлять в него значение давления и получать значение производительности. Для этого значение коэффициента при x_1 необходимо разделить на его предел варьирования:

$$Q = 61 + 560P_{\text{вх}} \quad (6)$$

где Q - производительность гидроциклона, л/мин.

Данное уравнение получено без учета влияния квадратичных членов и может быть использовано для приближенной оценки производительности регулируемого гидроциклона.

В дальнейшем расчете нами учитывалось влияние квадратичных членов в уравнении (4).

Вычисленное среднее значение \bar{Y}_0 , при нулевом уровне переменных факторов является чистой оценкой для β_0 , а разность

$$|\bar{Y}_0 - b_0| > \sqrt{\bar{S}^2} \sqrt{(N+z)/Nzt_p(f)} \quad (7)$$

оценкой для суммы коэффициентов регрессии при членах высших порядков. Если эта разность незначима, то выход процесса может быть описан уравнением без квадратичных членов.

В уравнении (7) \bar{Y}_0 - среднее значение из z повторностей в опыте с исследуемыми факторами, падающими на нулевом уровне; \bar{S}^2 - среднее взвешенное из двух дисперсий.

$$\bar{S}^2 = \frac{(n-1)S^2[b_i] + (z-1)S^2[\bar{Y}_0]}{N+z-2}, \quad (8)$$

где $S^2[\bar{Y}_0]$ - дисперсия \bar{Y}_0 .

$$S^2[\bar{Y}_0] = \frac{\sum [\bar{Y}_0 - Y_0]^2}{z(z-1)} \quad (9)$$

В нашем случае разность $|\bar{Y}_0 - b_0|$ оказалась значимой, поэтому квадратичные члены в уравнении регрессии (4) отбрасывать нельзя. Невозможность отбросить квадратичные члены в уравнении регрессии указывает на значительную кривизну поверхности отклика вблизи оптимума. В этом случае необходима постановка факторного эксперимента с меньшими единицами варьирования [6].

Для уменьшенных пределов варьирования переменных факторов был составлен новый план полного факторного эксперимента и осуществлена его реализация.

После определения коэффициентов регрессии и оценки их значимости мы получили уравнение регрессии следующего вида:

$$\hat{Y} = 60,6 + 8,7x_1 - 0,61x_2 + 0,33x_3 + 0,36x_1x_2 + 0,32x_1x_3 \quad (10)$$

Вычисленное среднее значение \bar{Y}_0 и значение свободного члена b_0 в уравнении (10) подставлялось в выражение (7), где оказалось, что принятое предположение о возможности описания производительности гидроциклона без членов высших порядков справедливо.

Проводилась оценка возможности использования уравнения (10) без парных взаимодействий. Для этого в уравнении (9) отбрасывали парные взаимодействия и по нему определяли производительность гидроциклона:

$$\hat{Y} = 60,6 + 8,7x_1 - 0,61x_2 + 0,33x_3. \quad (11)$$

Уравнение (11) при вычислении производительности гидроциклона, с учетом точности измерений, преобразовывали к виду, позволяющему непосредственно подставлять в него значения переменных факторов и получить значение производительности регулируемого гидроциклона:

$$Q = 60,6 + 580P_{\text{пит}} - 0,1\alpha + 0,0132H. \quad (12)$$

Рассчитав по уравнению (12) значения \bar{Y}_N , рассчитывали разность $|\bar{Y}_N - \hat{Y}_N|$ для каждого из N вариантов. После чего вычисляли дисперсию неадекватности, используя уравнение

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum(\bar{Y}_N - \hat{Y}_N)^2}{N - i - 1}, \quad (13)$$

где $(N - i - 1)$ – число отброшенных взаимодействий.

Далее, сравнив $S_{\text{ад}}^2$ с дисперсией воспроизводимости $S^2\{Y\}$, определяемой по уравнению

$$S^2\{Y\} = \frac{\sum S^2\{Y_N^k\}}{N}, \quad (14)$$

по критерию Фишера оценили возможность отбрасывания членов парных взаимодействий по уравнению

$$F_{\text{расч}} = S_{\text{ад}}^2 / S^2\{Y\}. \quad (15)$$

Оказалось, что $F_{\text{расч}} > F(f_1, f_2)$, то есть парные взаимодействия, отбрасывать нельзя, но можно утверждать, что линейное приближение неадекватно.

Окончательно преобразуем уравнение (7).

$$Q = 60,6 + 580P_{\text{пит}} - 0,1\alpha + 0,0132H + 4P_{\text{пит}}\alpha + 10,67P_{\text{пит}}d_{\text{шл}}. \quad (16)$$

Уравнение (16) показывает, что на нулевом уровне производительность гидроциклона составляет 60,6 л/мин. При изменении давления перед гидроциклоном на величину единицы варьирования $\pm\lambda_1$ ($\lambda_1 = 0,015$ МПа) производительность изменится на $\pm 8,7$ л/мин, при изменении угла конусности гидроциклона на величину единицы варьирования $\pm\lambda_2$ ($\lambda_2 = 6^\circ$) производительность изменится на $\pm 0,61$ л/мин, при изменении высоты цилиндрической части гидроциклона на величину единицы варьирования $\pm\lambda_3$ (25 мм) производительность изменится на $\pm 0,33$ л/мин, при совместном изменении давления и угла конусности производительность гидроциклона изменится на $\pm 0,36$

л/мин, при совместном изменении давления питания и диаметра шламовой насадки производительность гидроциклона изменится на $\pm 0,36$ л/мин.

Выводы

1. В результате реализации полного факторного эксперимента установлено, что при принятых пределах варьирования исследуемых факторов и используемой точности измерений производительность гидроциклона зависит от диаметра шламовой насадки, рабочей высоты цилиндрической части, угла конусности и давления питания гидроциклона. Наиболее значимым фактором является давление питания гидроциклона.

2. Полученное уравнение позволяет определять производительность регулируемого гидроциклона в зависимости от значений непосредственно измеряемых переменных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мажугин Е.И. Тонкослойное сепарирование моющих растворов, используемых при ремонте машин. Дисс. канд. техн. наук: 05.20.03. – М.: ГОСНИТИ, 1987. – 220 с.
2. Тельнов А.Ф. Исследование процесса очистки щелочных моющих растворов, применяемых на с.-х. ремонтных предприятиях. Дисс. канд. техн. наук: 05.20.03. – М.: ГОСНИТИ, 1972. – 148 с.
3. Положительное решение о выдаче патента на полезную модель № и 20050113 от 06.05.2005.
4. Скирдов И.В., Пономарев В.Г. Очистка сточных вод в гидроциклонах. – М.: Стройиздат, 1975. – 176 с.
5. Лабораторная установка для исследования гидроциклонной очистки моющего раствора // Ресурсосбережение и экология в сельском хозяйстве / Сб. мат. VI международной конференции студентов, магистрантов и аспирантов. – БГСХА. Горки, 2004. – С. 155 – 157.
6. Ашмарин И.П., Васильев Н.Н., Амбросов В.А. Быстрые методы статистической обработки и планирование экспериментов. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. – 78 с.
7. СНиП 2.04.03 – 85. Канализация. Наружные сети и сооружения. Дата введения 01.01.1986.
8. Мажугин Е.И., Казаков А.Л. Экспериментальное определение производительности регулируемого гидроциклона // Вестник БГСХА. – 2004. – № 4. – С. 77 – 80.

Редакция журнала «Агропанорама»

приглашает к сотрудничеству представителей академической, вузовской, отраслевой науки и производства.

Надеемся, что ваши докторанты, аспиранты, соискатели и магистранты станут подписчиками нашего издания и авторами статей. Рассмотрим предложения по выпуску специальных номеров журнала «Агропанорама».

Телефоны редакции: 267-22-14; 267-30-12.