

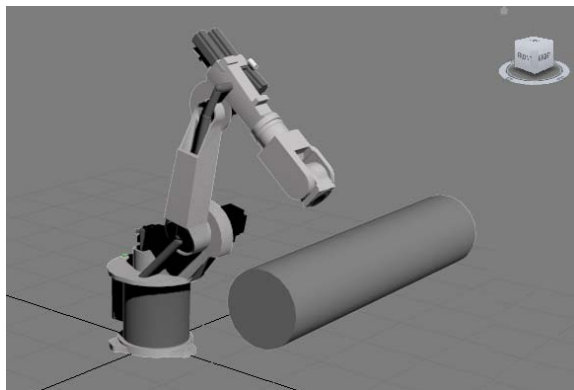


Рис. 4. 3D-модель роботизированного комплекса

Основное конкурентное преимущество – возможность обработки деталей сложной геометрии.

Сферы применения очень обширны: металлургические предприятия (ремонт валков), а также предприятия, применяющие промышленные роботы (автомобилестроение, машиностроение и металлообработка).

Выводы.

Программное обеспечение (свидетельство № 2015612635 о государственной регистрации в Роспатент) для управления роботизированным комплексом лазерной обработки и нанесения покрытий разработано в среде Delphi и испытано с применением робота-манипулятора «Робин» в лаборатории систем искусственного интеллекта кафедры МПО ЭВМ [7].

Оперативность выполнения технологических операций повысилась в 1,25 раза, точность – на 8,7 %. Таким образом, в работе предложен подход

для повышения эффективности обработки деталей на основе автоматизированного управления, обеспечивающего оперативность и точность технологического процесса.

Литература

1. Балдаева, Л. Х. Газотермическое напыление / Л. Х. Балдаева. – М., 2007.
2. Борисова, А. Л. Структура и свойства покрытий полученных электродуговой металлизацией из порошковых проволок / [А. Л. Борисова и др.] // Автоматическая сварка. – 1995.
3. Зенин, Б. С. Современные технологии модифицирования поверхности и нанесения покрытий / Б. С. Зенин, Б. Б. Овечкин. – Томск, 2008.
4. Зенин, Б. С. Современные технологии поверхностного упрочнения и нанесения покрытий / Б. С. Зенин, А. И. Слосман. – Томск, 2012.
5. Ильющенко, А. Ф. Процессы формирования газотермических покрытий и их моделирование / А. Ф. Ильющенко, А. И. Шевцов, В. А. Оковитый. – Мн., 2011.
6. Казинаускас, А. Ю. Программное обеспечение для управления роботизированным комплексом лазерной обработки и нанесения покрытий / А. Ю. Казинаускас, Е. В. Ершов // X MEZINARODNI V'EDECKO – PRAKTICKA KONFERENCE. – Praha, 2014.
7. Казинаускас А. Ю., Ершов Е. В., Виноградова Л. Н., Варфоломеев И. А. Свидетельство №2015612635 о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программное обеспечение для управления роботизированным комплексом лазерной обработки и нанесения покрытий». Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 24 февраля 2015 г.
8. Кудинов, В. В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование / В. В. Кудинов, Г. В. Бобров. – М., 1992.

УДК 66.048

С. В. Лукин

Череповецкий государственный университет,

А. Н. Сурикова

Вологодский государственный университет

ОПТИМИЗАЦИЯ ЧИСЛА ВЫПАРНЫХ СТУПЕНЕЙ УСТАНОВКИ РАЗДЕЛЕНИЯ НЕФТЕШЛАМА

В статье рассмотрены вопросы оптимизации числа выпарных ступеней установки разделения нефтешлама, за счет которой можно увеличить производительность установки и снизить удельный расход топлива в несколько раз и минимизировать капитальные и эксплуатационные расходы на осушку 1 т нефтешлама.

Блок разделения нефтешламов, выпарная установка, нефтешлам, оптимизация.

The paper considers the issues of optimization of the number of evaporating stages in the unit for oil slime separation, that will increase an output of the unit and reduce the specific consumption of fuel by several times, and minimize capital and operating costs of the dehydration per 1 ton oil slime.

Separation oil slime unit, evaporation plant, oil slime, optimization.

Введение.

В работе [3] рассмотрена принципиальная тепловая схема существующей установки по выпариванию влаги из нефтепродуктов (блока разделения нефтешламов, сокращенно – БРНШ). Основным недостатком таких установок является их низкая энергоэффективность, обусловленная наличием всего лишь одной выпарной ступени, в которой теплота греющей воды, получаемой в водогрейном котле, расходуется на выпаривание влаги из нефтешлама, а теплота образующегося пара никак не используется и теряется в окружающей среде. Так, для снижения влагосодержания на 1 % в 1 тонне обводненного нефтешлама требуется выпарить 10 кг влаги, что при теплоте испарения $r = 2320$ кДж/кг потребует расхода теплоты 23,2 МДж. Приняв коэффициент использования теплоты топлива, сжигаемого в водогрейном котле, равным $\eta = 0,9$, получим, что удельный расход условного топлива с теплотой сгорания 29,3 МДж/кг на удаление 1 % влаги из 1 т нефтешлама составит $23,2/(0,9 \cdot 29,3) = 0,88$ кг.у.т. Если учесть, что на разогрев нефтешлама из холодного состояния до температуры выпаривания дополнительно расходуется примерно 15÷20 % всего топлива, то удельный расход условного топлива на удаление 1 % влаги из 1 т нефтешлама составит примерно $b_0 \approx 1$ кг.у.т. При исходном и остаточном влагосодержании в нефтешламе, равном соответственно 30 и 1 %, расход условного топлива составит 29 кг.у.т. на 1 т обводненного нефтешлама.

Если теплоту пара, получаемого в первой выпарной ступени, использовать для обогрева второй ступени, то можно увеличить производительность всей установки примерно в 2 раза, при этом удельный расход топлива на выпаривание влаги из 1 т нефтешлама снизится также в 2 раза. Если теплоту пара, получаемого во второй ступени, использовать для обогрева третьей ступени, то производительность установки увеличится примерно в 3 раза, и во столько же раз снизится удельный расход топлива. Если установить n выпарных ступеней, каждая из которых обогревается паром, выходящим из предыдущей ступени, то можно увеличить производительность установки примерно в n раз и снизить удельный расход топлива в n раз (если не учитывать потерь теплоты в каждой ступени). Этот известный принцип давно используется в многоступенчатых

выпарных установках [2]. Однако, одновременно с увеличением производительности и снижением удельного расхода топлива, увеличение количества выпарных ступеней приводит к увеличению стоимости всей установки, так как при этом возрастает не только число, но и размеры поверхностей нагрева каждой ступени. Очевидно, существует оптимальное число выпарных ступеней, при котором материальные и денежные затраты на осушку 1 т нефтешлама будут минимальными.

На рис. 1 представлена предлагаемая принципиальная тепловая схема многоступенчатой установки по выпариванию влаги из нефтешлама, которая в отличие от существующей одноступенчатой установки содержит n выпарных ступеней. В установившемся режиме установка работает так. Первая ступень BC_1 обогревается греющей водой из водогрейного котла BK со средней температурой t_0 , значение которой определяется условиями техники безопасности и находится в диапазоне 90÷95 °С. Для увеличения массообменной поверхности нефтешлама в каждой выпарной ступени производится его непрерывная циркуляция: нефтешлам забирается насосом из нижней части ступени, где находятся греющие трубы, и подается на испарительные полки, расположенные в верхней части ступени, где происходит частичное испарение влаги из нефтешлама, после чего он сливается самотеком в нижнюю часть выпарной ступени. Пар, выходящий из первой ступени BC_1 с температурой t_1 (определяемой давлением p_1 внутри этой ступени), направляется для обогрева 2-й ступени, где конденсируется внутри греющих труб при той же температуре t_1 . Пар, выходящий из второй ступени с температурой t_2 и давлением p_2 , направляется для обогрева 3-й ступени, где конденсируется внутри греющих труб при температуре t_2 , и т. д. Из последней ступени BC_n с номером n выходит пар с температурой t_n и давлением p_n , которые определяются возможностью конденсации в вакуумном насосе $ВН$ и отводом теплоты конденсации в калорифере $К$. Можно считать, что рациональное значение температуры конденсации пара $t_k = t_n$, выходящей из последней ступени, находится в диапазоне 35÷55 °С, что соответствует давлению $p_k = p_n = 5,6 \div 15,7$ кПа. Конденсат греющего пара, получаемый в ступенях 2, 3, ..., n , периодически выводится из установки.

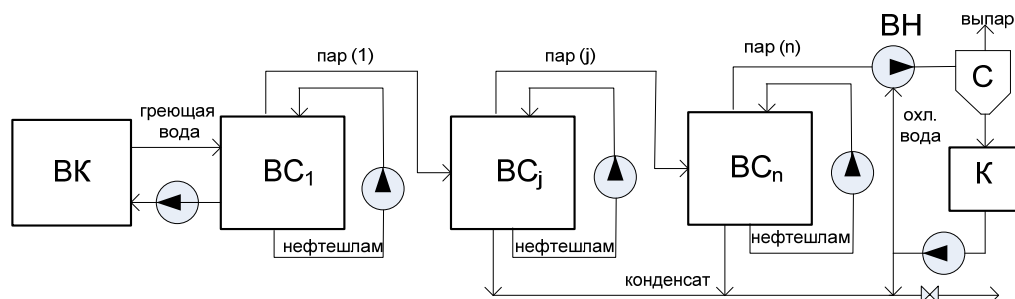


Рис. 1. Многоступенчатая установка по разделению нефтешлама

Теплота пара, выходящего из последней ступени, в принципе может быть использована в утилизационном теплообменнике для предварительного подогрева нефтешлама, который в следующий цикл работы будет загружаться в выпарные ступени установки. Для простоты такой утилизационный теплообменник не будем учитывать, хотя он обеспечивает дополнительное повышение тепловой эффективности установки.

При оптимизации числа выпарных ступеней будем считать, что заданными и постоянными являются следующие величины: тепловой поток Q_0 , кВт, подводимый с греющей водой к первой ступени; средняя температура греющей воды t_0 , °C; температура t_k и давление p_k пара, выходящего из последней выпарной ступени. Принимаем, что теплота испарения r не зависит от давления пара, т. е. является постоянной. Потерями теплоты в каждой ступени пренебрегаем, так как эти потери можно свести к минимуму за счет применения надлежащей тепловой изоляции корпусов выпарных ступеней и паропроводов.

Пусть $t_1, t_2, \dots, t_n$ – температуры пара на выходе из ступеней 1, 2, ..., n . Располагаемый температурный напор между греющим теплоносителем и нагреваемым нефтешламом в j -й ступени определяется выражением: $\Delta t_j = t_{j-1} - t_j$; при этом для первой ступени $\Delta t_1 = t_0 - t_1$, для второй – $\Delta t_2 = t_1 - t_2$, для n -й ступени $\Delta t_n = t_{n-1} - t_n$. Сумма располагаемых температурных напоров во всех ступенях равняется $\Delta t_{\max} = t_0 - t_n = t_0 - t_k$:

$$\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n = \Delta t_{\max}, \quad (1)$$

где $\Delta t_{\max}$ – заданная по условию величина.

При оптимизации многоступенчатых выпарных установок для всех ступеней часто принимают одинаковый располагаемый температурный напор [2], т. е.: $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \dots = \Delta t_n$. С учетом выражения (1) получаем: $\Delta t_j = \Delta t_{\max}/n$, где $j = 1, 2, \dots, n$.

Поскольку потерями теплоты пренебрегли, то можно записать:

$$Q_0 = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n, \quad (2)$$

где Q_j – поток теплоты, кВт, расходуемый в j -й ступени на образование пара с расходом G_j , кг/с, где $j = 1, 2, \dots, n$. Между величинами Q_j и G_j есть точное соотношение:

$$Q_j = r \cdot G_j. \quad (3)$$

Так величину Q_0 считаем постоянной, то из выражений (2) и (3) следует, что

$$G_1 = G_2 = \dots = G_n,$$

и суммарный выход пара из всех ступеней равняется:

$$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n = n \cdot G_1 = n \cdot Q_0 / r. \quad (4)$$

Из (4) следует, что суммарная производительность установки G пропорциональна числу ступеней n . Удельный расход теплоты на единицу выпаренной влаги, равняется:

$$q = Q_0 / G = r / n. \quad (5)$$

Поскольку расход условного топлива в водогрейном котле B , кг/с связан с величиной Q_0 выражением: $B \cdot Q_n \cdot \eta = Q_0$, где $Q_n = 29310$ – теплота сгорания условного топлива, кДж/кг, то с помощью (5) получим выражение для удельного расхода топлива, кг/кг:

$$b = B / G = (r / Q_n) / (\eta \cdot n). \quad (6)$$

Если принять к.п.д. котла $\eta = 0,9$, а теплоту испарения $r = 2320$ кДж/кг, то из (6) получим: $b \approx 0,088/n$, кг/кг. При $n = 1$ (одноступенчатая установка) на удаление 1 кг влаги расходуется 0,088 кг условного топлива. При $n = 2$ удельный расход топлива снижается в 2 раза и равняется 0,044 кг/кг. Из (6) следует, что удельный расход топлива уменьшается обратно пропорционально числу выпарных ступеней n .

Рассмотрим, как изменяются необходимые поверхности нагрева ступеней при увеличении их числа. Тепловой поток, Вт, подводимый к j -й ступени, можно выразить уравнением теплопередачи:

$$Q_j = k_j \cdot \Delta \bar{t}_j \cdot F_j = k_j \cdot \zeta_j \cdot \Delta t_j \cdot F_j, \quad (7)$$

где k_j – коэффициент теплопередачи от греющего теплоносителя к нефтешламу в j -й ступени, Вт/(м²·К); $\Delta \bar{t}_j$ и Δt_j – средний и располагаемый температурный напоры в j -й ступени, °C; ζ_j – коэффициент, связывающий величины $\Delta \bar{t}_j$ и Δt_j ($\Delta \bar{t}_j = \zeta_j \cdot \Delta t_j$); F_j – площадь поверхности нагревателя в j -й ступени, м².

Коэффициенты ζ_j , меньшие или равные 1, зависят от гидравлических потерь при движении греющего пара, из-за которых понижается температура конденсации греющего пара, и от расхода нефтешлама, перекачиваемого циркуляционным насосом, от которого зависит средняя температура нагреваемого нефтешлама. Гидравлические потери зависят от диаметра паропроводов между ступенями, и их можно сделать пренебрежимо малыми. Коэффициент ζ тем ближе к 1, чем больше величина $\omega = W/(k \cdot F)$, где W – водяной эквивалент перекачиваемого нефтешлама [1]. Если принять, что при увеличении поверхности ступени F происходит пропорциональное увеличение величины W за счет такого же увеличения числа циркуляционных насосов, то величина ω не будет уменьшаться, а может даже возрасти из-за уменьшения коэффициента теплопередачи k . Для простоты будем считать величины ω и ζ одинаковыми и постоянными для всех ступеней при любом их числе. Можно принять, что рациональное значение ζ нахо-

дится в диапазоне $0,8 \div 0,95$, что соответствует $\omega = 2 \div 10$.

В работе [3] показано, что из-за высокого коэффициента теплоотдачи при движении греющей воды или конденсации греющего пара внутри греющих труб и из-за пренебрежимо низкого термического сопротивления стенки греющих труб, коэффициент теплопередачи k в нагревателях выпарных ступеней равен практически коэффициенту теплоотдачи α к нагреваемому нефтешламу на наружной поверхности греющих горизонтальных труб. При теплоотдаче за счет свободной конвекции, коэффициент α примерно пропорционален $\Delta t^{0,25}$, где Δt – средний температурный напор в данной ступени [1]. Если пренебречь зависимостью теплофизических параметров нефтешлама от температуры, то при постоянном диаметре греющих труб можно получить следующую формулу:

$$k_j \cong k_{\max} \cdot (\Delta t_j / \Delta t_{\max})^{0,25},$$

где $k_{\max}$ – коэффициент теплопередачи в одноступенчатом выпарном аппарате, в котором используется весь температурный напор $\Delta t_{\max}$. Поскольку $\Delta t_j = \Delta t_{\max} / n$, то последнюю формулу можно записать так:

$$k_j \cong k_{\max} / n^{0,25}. \quad (8)$$

Из формулы (7) выразим величину поверхности нагрева в j -й ступени:

$$\begin{aligned} F_j &= Q_j / (k_j \cdot \zeta \cdot \Delta t_j) = \\ &= Q_0 / (k_{\max} \cdot \zeta \cdot \Delta t_{\max}) \cdot n^{1,25} = F_0 \cdot n^{1,25}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $F_0 = Q_0 / (k_{\max} \cdot \zeta \cdot \Delta t_{\max})$ – поверхность нагревателя в одноступенчатом выпарном аппарате.

Суммарная площадь поверхностей нагревателей всех ступеней с учетом (9) равна:

$$F = F_1 + F_2 + \dots + F_n = n \cdot F_j = F_0 \cdot n^{2,25}. \quad (10)$$

Рассмотрим капиталовложения K в установку разделения нефтешлама. Их можно представить в виде суммы неизменных капиталовложений K_0 в постоянные элементы, включающие водогрейный котел ВК, вакуумный водоструйный насос ВН, сепаратор С, калорифер К, систему автоматизации, и дополнительных капиталовложений ΔK_n на выпарные ступени, которые зависят от числа выпарных ступеней и их размеров:

$$K = K_0 + \Delta K_n.$$

Если принять, что дополнительные капиталовложения ΔK_n прямо пропорциональны суммарной площади F нагревателей всех ступеней, то с учетом (10) можно получить, что величина $\Delta K_n = \Delta K_0 \cdot n^{2,25}$,

где ΔK_0 – стоимость выпарной ступени в одноступенчатой установке. Тогда последнюю формулу можно записать в виде:

$$K = K_0 (1 + \kappa \cdot n^{2,25}), \quad (11)$$

где $\kappa = \Delta K_0 / K_0$ – отношение стоимости выпарной ступени к стоимости остальных элементов в одноступенчатой установке.

Из формулы (11) следует, что капиталовложения в многоступенчатую установку с ростом числа ступеней n резко возрастают. Рассмотрим удельные капиталовложения в расчете на производительность установки, характеризуемой суммарным расходом выпариваемой влаги G , который из (4) равен $G = n \cdot Q_0 / r = n \cdot G_0$, где G_0 – производительность одноступенчатой установки. Отношение K/G с учетом (11) и (4) можно описать выражением:

$$K/G = (K_0 / G_0) (1/n + \kappa \cdot n^{1,25}).$$

Удельные относительные капиталовложения K/K_0 в расчете на относительную производительность установки G/G_0 , с учетом последнего выражения запишем в виде:

$$\chi = (K/K_0) / (G/G_0) = (1/n + \kappa \cdot n^{1,25}). \quad (12)$$

В известных установках БРНШ водогрейный котел, вакуумный насос, сепаратор, калорифер и система автоматики являются элементами импортного производства, в то время как сама выпарная ступень может быть выполнена из труб отечественного производства. Например, в установке БРНШ-3, полная стоимость которой составляет примерно 2,6 млн руб., стоимость изготовления одной выпарной ступени с циркуляционным насосом не превышает 100 тыс. руб. В этом случае коэффициент κ , входящий в формулу (12), будет равняться $\kappa = \Delta K_0 / K_0 = 100 / (2600 - 100) = 0,04$. То есть стоимость изготовления одной выпарной ступени составляет примерно 4 % от стоимости остальных элементов.

На рис. 2 показана зависимость величины χ от числа ступеней n при различном значении коэффициента $\kappa = 0,04; 0,1; 0,2; 0,5$, полученная с помощью формулы (12).

Из рис. 2 следует, что, например для $\kappa = 0,04$, увеличение числа ступеней n приводит сначала к уменьшению величины χ (удельных капиталовложений на единицу производительности), от значения 1,04 (при $n = 1$) до минимального значения 0,48 при $n = 4$. При дальнейшем увеличении n величина χ начинает возрастать, и при числе ступеней $n = 13$ величина χ имеет значение 1,064, т. е. практически такое же, как при $n = 1$. При $\kappa = 0,1$ минимальное значение величины $\chi = 0,737$ достигается при $n = 3$, а значение $\chi = 1,1$ (такое же, как при $n = 1$), достигается при $n = 6$. При $\kappa = 0,5$ увеличение числа n практически сразу приводит к возрастанию величины χ .

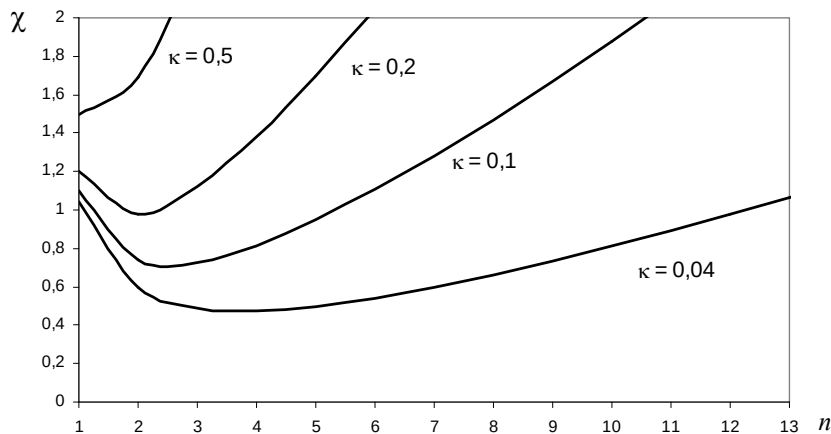


Рис. 2. Зависимость $\chi(n)$ при различных значениях κ

Анализ формулы (12) на экстремум показал, что минимальное значение величины χ достигается при числе ступеней:

$$n_1 = \left(\frac{1}{1,25 \cdot \kappa} \right)^{1/2,25} \cong (0,8/\kappa)^{0,44}. \quad (13)$$

Число ступеней n_2 , при котором величина χ имеет такое же значение, как при $n = 1$, определяется из решения трансцендентного уравнения:

$$1/n + \kappa \cdot n^{1,25} = 1 + \kappa. \quad (14)$$

Значения n_1 и n_2 , полученные из выражений (13) и (14), нужно округлить до целого числа.

Рассмотрим, что означают числа n_1 и n_2 в плане капиталовложений, производительности и удельного расхода топлива для $\kappa = 0,04$ (как для установки БРНШ-3).

При числе ступеней $n_1 = 4$ производительность модернизированной установки БРНШ-3 возрастет в 4 раза, удельный расход топлива в расчете на 1 т нефтешлама уменьшится в 4 раза, удельные капиталовложения χ снизятся более, чем в 2 раза, тогда как полные капиталовложения K возрастут в 1,9 раза. Для сравнения, покупка второй аналогичной установки БРНШ-3 увеличила бы полные капиталовложения в 2 раза, суммарная производительность возросла бы также в 2 раза, а удельный расход топлива не изменился.

При числе ступеней $n_2 = 12$ производительность установки модернизированной БРНШ-3 возрастет в 12 раз, удельный расход топлива уменьшится в 12 раз, удельные капиталовложения χ практически не изменятся, тогда как полные капиталовложения возрастут в 11,7 раз (почти в 12). Этот вариант не дает больших выгод, так как покупка 11 дополнительных аналогичных БРНШ-3 увеличит полные капиталовложения и производительность в 12 раз при неизменном удельном расходе топлива.

Отметим, что удельный расход топлива слабо влияет на экономическую окупаемость установки,

поскольку водогрейный котел в принципе можно приспособить для работы на осушенном нефтепродукте. Допустим, если в одноступенчатой установке для осушки 1 т обводненного нефтешлама с 30 % исходной влажности требуется затратить 29 кг.у.т., то при этом получается 700 кг высококалорийного топлива с теплотой сгорания приблизительно 38,3 МДж/кг, что в пересчете на условное топливо дает 915 кг. Таким образом, для работы водогрейного котла в одноступенчатой установке можно использовать примерно 3 % получаемого осушенного нефтепродукта.

Кроме того, следует учитывать увеличение габаритов и массы установки при возрастании числа ступеней. Например, при числе ступеней, равном 4, полная поверхность нагрева возрастает в $4^{2,25} = 22,5$ раза, а при числе ступеней равном 12 – в 268 раз.

Для нормальной работы выпарной ступени, как показано ранее, необходимо, чтобы величина $\omega = W/(k \cdot F)$ сохранялась постоянной. С учетом (8) и (9) следует, что для выполнения данного условия ($\omega = \text{const}$) нужно, чтобы водяной эквивалент W перекачиваемого нефтешлама для данной ступени изменялся пропорционально числу n . Производительность всех насосов для многоступенчатой установки будет пропорциональна n^2 , при этом расход электроэнергии на перекачку нефтешлама во всех ступенях также будет пропорциональна n^2 :

$$\Xi = \Xi_0 \cdot n^2, \quad (16)$$

где Ξ_0 и Ξ – расход электроэнергии на перекачку нефтешлама в одноступенчатой и многоступенчатой установках, кВт.

Удельный расход электроэнергии, кДж/кг, с учетом (4), будет определяться выражением:

$$\varepsilon = \Xi/G = \varepsilon_0 \cdot n, \quad (17)$$

где $\varepsilon_0 = \Xi_0/G_0$ – удельный расход электроэнергии на 1 кг испаряемой влаги в одноступенчатой установке.

Как следует из формул (16) и (17), при числе ступеней $n = 4$ полный расход электроэнергии $\mathcal{E}$ возрастает в $4^2 = 16$ раз, а удельный расход – в 4 раза. При $n = 12$ полный расход электроэнергии $\mathcal{E}$ возрастает в $12^2 = 144$ раза, а удельный расход – в 12 раз.

Таким образом, если при небольшом числе ступеней затраты на электроэнергию могут быть сравнительно малыми, то с увеличением n они резко возрастают и не компенсируются уменьшением затрат на топливо.

Срок окупаемости установки разделения нефтешлама зависит главным образом от капиталовложений, которые нужно свести к минимуму в расчете на единицу производительности при сохранении надежности работы оборудования. Для определения оптимального числа ступеней установки можно рекомендовать формулу:

$$n_{\text{опт}} \approx n_1 = (0,8/\kappa)^{0,44}, \quad (18)$$

где κ – отношение стоимости выпарной ступени к стоимости остальных элементов в одноступенчатой установке. Число $n_{\text{опт}}$ равняется числу n_1 , округленному до целого числа.

В таблице показана зависимость оптимального числа ступеней $n_{\text{опт}}$ от величины κ , рассчитанная по формуле (18).

Из таблицы следует, что чем меньше величина κ , тем больше оптимальное число ступеней, соответствующих минимуму удельных капитальных затрат.

Таблица

Зависимость $n_{\text{опт}}$ от величины κ

κ	0,01	0,02	0,04	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$n_{\text{опт}}$	7	5	4	3	3	2	2	1	1

Выводы.

Предложена принципиальная тепловая схема многоступенчатой установки по разделению нефтешлама. Установлено влияние числа ступеней на производительность установки, на удельный расход топлива и электроэнергии, и на капиталовложения. Получена формула для определения оптимального числа ступеней, при котором обеспечиваются минимальные удельные капиталовложения и минимальный срок окупаемости установки.

Литература

1. Исаченко, В. Л. Теплопередача / [В. Л. Исаченко и др.]. – М., 1981.
2. Лебедев, П. Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки / П. Д. Лебедев. – М., 1972.
3. Лукин, С. В. Тепловой расчет установки по выпариванию влаги из нефтепродуктов / С. В. Лукин, Н. Н. Синицын, А. Н. Сурикова // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2015. – №4(65). – С. 33–37.

УДК 004.04:004.822

А. В. Макаров, К. В. Макаров
Муromский институт (филиал) Владимирского государственного университета
им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

МЕТОД И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СТЕПЕНИ СЕМАНТИКО-ЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИАГНОСТИКИ УРОВНЯ УСВОЕНИЯ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

В статье приводится описание разработки метода числовой оценки степени семантико-логической связности результатов диагностики уровня подготовленности учащихся, а также разработки алгоритмов выделения и обработки нитей контрольных заданий из структуры контрольно-измерительного материала и расчета значения семантико-логической связности для каждой нити контрольных заданий. Проводится анализ применимости разработанных метода и алгоритмов, на основе которого делается вывод о практической значимости нового аналитического показателя процедуры диагностики уровня усвоения учебного материала.

Информационно-образовательные системы, оценка степени семантико-логической связности, результаты диагностики уровня подготовленности учащегося, семантико-логические взаимосвязи.

The paper describes the development of a numerical method of assessment of semantic and logical connectivity of diagnostic results of the level of students' preparedness, as well as the development of the algorithm of selection and processing threads of control tasks from the structure of test material and the algorithm of calculating the semantic and logical consistency for each thread of testing tasks. The applicability of the methods and algorithms is analyzed; the conclusion about the practical significance of the new analytical indicator of the diagnostic of the level of retention of auditory material is made, based on this analysis.

Information and education system, assessment of semantic-logical consistency of the test results of students' preparedness, semantic and logical relationships.