

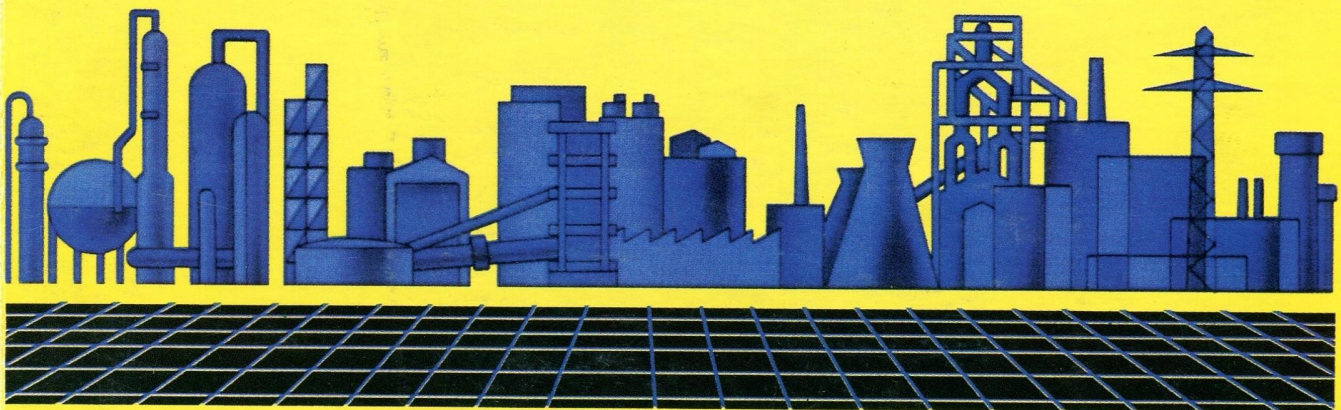
ISSN 2078-5364

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЩОКВАРТАЛЬНИЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ



2`2015



ІТЕ ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Щоквартальний науково-практичний журнал

2'2015

Видання засновано Харківським державним політехнічним університетом у 1998 році
(з листопада 2000 р. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»)

Держвидання
Свідоцтво Міністерства інформації України
КВ № 3427 від 18.08.1998 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО
постановою президії ВАК України
як наукове фахове видання
(протокол № 1-05/3 від 14.04.2010 р.)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор
Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ,
член-кор. НАН України

Відповідальний секретар
К. О. ГОРБУНОВ,
канд. техн. наук, доц.

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ:

В. П. Мешалкін, *д-р техн. наук, проф.*,
РХТУ Москва (Росія)
Д. Б. Ферст, *ВА, ген. директор*
F. Executive Co. (Великобританія)
Й. Клемеш, *PhD, DSc (Нон)*
ун-та «Паннонія» (м. Веспрем, Угорщина)
та ун-та Манчестера (Великобританія)
В. Плешу, *PhD, проф.*, *ун-т POLITEHNICA*
Бухарест (Румунія)
П. Стехлік, *PhD, проф.*, *VUT Брно (Чехія)*
О. Б. Аніпко, *д-р техн. наук, проф.*
Є. І. Сокіл, *член-кор. НАН України*
П. А. Качанов, *д-р техн. наук, проф.*
В. А. Малярєнко, *д-р техн. наук, проф.*
Д. Ф. Сімбірський, *д-р техн. наук, проф.*
В. П. Шапорєв, *д-р техн. наук, проф.*
Ю. Б. Данилов, *д-р техн. наук, проф.*
С. В. Яковлев, *д-р фіз.-мат. наук, проф.*
Ю. М. Мацевігий, *акад. НАН України*
В. Є. Ведь, *д-р техн. наук, проф.*
Л. М. Ульєв, *д-р техн. наук*
П. О. Капустєнко, *акад. Академії будівництва України*

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:

61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21
Тел. 70-76-958

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Бабич Н. И.

Расчетные показатели пластинчатых
теплообменников и некоторые аспекты
рационального использования
природных ресурсов.....3

*Дудка С. В., Подустов М. О., Дзєвочко О. М.,
Ришєнко І. М., Кушинський С. І.*

Підвищення енергоефективності та рівня
екологічної безпеки виробництва
мінеральних добрив.....9

Накашидзе Л. В., Габринєц В. А., Трофимєнко А. В.

Прогнозирование эффективности преобразования
солнечного излучения в энергоактивных
ограждениях15

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

*Бобух А. А., Ковалєв Д. А., Дзєвочко А. М., Климов А. А.,
Подустов М. А., Перєверзева А. Н.*

Оптимальный в классе адаптивных рекуррентных
процедур алгоритм управления.....23

Ковтонюк И. Б., Шаблий Г. Ф., Волосников С. А.

Аналитическое решение задачи математического
моделирования движения центра масс подвижной
платформы.....30

Поднебенная С. К.
Методика выбора мощности активных
фильтрокомпенсирующих устройств 37

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

*Бутенко А. Н., Лобойко А. Я.,
Привалова Г. С.*
Термодинамические особенности
окисления аммиака до оксида азота (II)
на металлооксидных катализаторах 46

Костюк В. Е., Кирилай Е. И.
Тепловая модель корпуса газотурбинного
двигателя 53

Алали Мусана, Кричковская Л. В.
Исследование адсорбента из отходов АПК
и нанотрубок для рафинации
растительных масел 60

*Лаврова І. О., Аммар Валід Саїд,
Владимиренко В. В., Сорокотяга К. М.*
Апаратурне оформлення процесу
кавітаційної обробки нафтових фракцій
та дистилатів 67

*Левчук І. В., Кіщенко В. А., Тимченко В. К.,
Куниця К. В.*
Амарантова олія – якість та безпечність
щодо використання як біологічно активної
добавки 74

Болюх В. Ф., Олексенко С. В.
Линейный электромеханический
доускоритель индукционно-динамического
типа 81

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Демидов І. М., Ситнік Н. С., Гусак В. А.
Перспективні напрямки удосконалення
перестерифікації олій та жирів 90

Затверджено Вченою радою НТУ «ХПІ» (протокол № 6 від 29.05.2015 р.)

Інтегровані технології та енергозбереження / Щоквартальний науково-практичний журнал. –
Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 2. – 96 с.

Збірник наукових та науково-практичних статей з питань енергозбереження та сучасних технологій
різноманітних галузей промисловості.

© Національний технічний університет «ХПІ», 2015

УДК 536.2

Бабич Н.И.

**РАСЧЕТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ
И НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ**

Рекуперативные теплообменники являются одним из самых распространенных классов теплотехнического оборудования и применяются в промышленной технологии, энергетике и на транспорте, среди них пластинчатые теплообменные аппараты (ПТА) занимают одну из лидирующих, по степени применения, позиций в виду целого ряда известных теплотехнических, массогабаритных и эксплуатационных свойств [1]. При выборе теплообменника в процессе его заказа осуществляется расчет потребной теплообменной поверхности по перечню заданных показателей, численные значения которых определяет заказчик. Крупными фирмами производителями ПТА, такими как α -Laval и другие, разработаны специальные расчетные программные продукты (в α -Laval – CAS-200), позволяющие по заданной номенклатуре показателей осуществить проектировочный расчет для заданного типа пластины – то есть определить потребную теплопередающую поверхность. При этом вводится поправка – *margine*, которая после получения расчетного значения теплопередающей поверхности увеличивает ее на величину, задаваемую расчетчиком. При этом имеются рекомендации по величине этой поправки [2], которая составляет 10 ... 20 % и более.

Таким образом, все неточности, связанные с расчетными соотношениями, теплогидравлическими и теплофизическими характеристиками и заданными исходными данными компенсируются этой поправкой. Кроме этого, подчеркнем, что расчет потребной теплообменной поверхности осуществляется, как правило, без учета загрязнений, то есть для чистой поверхности. При этом, как в отечественной нормативной документации [2], так и в зарубежных источниках [3] рекомендуется увеличивать расчетную поверхность с целью компенсации возрастающего, при загрязнении поверхности, термического сопротивления теплопередачи.

С другой стороны, традиционно успешность деятельности предприятий производящих теплообменники оценивается суммарной площадью установленной поверхности за определенный период времени. Таким образом, завышение расчетного значения теплообменной поверхности в определенной степени отражает заинтересованность производителя продать как можно больше своей продукции – теплопередающей поверхности, и применительно к ПТА-пластин.

Таким образом, объективно сложилось противоречие, заключающееся в том, что с одной стороны ПТА имеют ряд теплотехнических и эксплуатационных преимуществ и относятся к энергосберегающему высокоэффективному оборудованию, а с другой стороны – применяемые методы определения теплопередающей поверхности приводят к завышению площади поверхности, что приводит к потреблению дополнительных ресурсов (материалы, энергия) и завышению текущих эксплуатационных затрат, связанных с прокачиванием теплоносителя вдоль теплопередающей поверхности большей площади.

Поэтому, представляется очевидным, что действительная эффективность устанавливаемого ПТА определяется соотношением упомянутых двух аспектов. При этом, безусловно, повышение достоверности методов расчета повышает эффективность устанавливаемых ПТА, снижая капитальные и эксплуатационные затраты [1].

Сравнительная экономическая эффективность капитальных вложений определяется для сравнения взаимозаменяемых вариантов хозяйственных или технических решений при обязательном соблюдении *полной сопоставимости вариантов* по потребительскому эффекту (производственному результату для потребителей продукции). Такие расчеты имеют особое значение в энергетике, для которой характерны большая фондоемкость продукции, длительные сроки сооружения и использования производственных объектов, широкая взаимозаменяемость установок и энергоресурсов.

Экономические показатели капитальных вложений и ежегодных издержек производства взаимосвязаны. Можно, например, увеличив удельные капиталовложения, достигнуть снижения себестоимости единицы продукции. Так, на тепловых электростанциях при повышении начальных параметров пара удорожается оборудование, но вместе с тем снижаются расходы топлива. Наоборот, чрезмерное снижение капитальных вложений может привести к неоправданному повышению себестоимости продукции. Поэтому будет неверным производить выбор варианта, ориентируясь на минимум одного из этих показателей без учета их взаимного влияния. Соотношение между этими показателями по сравниваемым вариантам может быть различным.

Если по одному из двух сравниваемых вариантов (например, первому) меньше как капитальные затраты ($K_1 < K_2$), так и ежегодные расходы ($S_1 < S_2$), то этот вариант по сравнению с другими является *абсолютно эффективным*.

Однако если снижение себестоимости достигается при одновременном повышении капитальных вложений (в результате роста технической вооруженности, требующего дополнительных капитальных вложений), минимум себестоимости продукции данного предприятия еще не характеризует экономической эффективности. Может оказаться, что снижение себестоимости продукции на данном предприятии достигнуто ценой чрезмерно больших капиталовложений, использование которых на другом производственном объекте обеспечило бы еще большее снижение себестоимости.

Очевидно, что увеличение капиталовложений на ΔK может быть целесообразно в том случае, когда обеспечивается достаточная экономия на ежегодных издержках производства, т. е. когда удельная экономия ежегодных затрат на рубль дополнительных капиталовложений E не ниже определенной нормативной величины E_n . В соответствии с этим *условие выбора наилучшего из сравниваемых вариантов* может быть представлено в следующем виде [(руб/год)/руб.]:

$$\Delta S / \Delta K = (S_2 - S_1) / (K_1 - K_2) = E > E_n,$$

т.е. вариант с большими капиталовложениями (первый) будет лучшим в том случае, когда обеспечиваемая удельная экономия ежегодных затрат превышает нормативную. Показатель E , имеющий размерность 1/год, называется коэффициентом эффективности дополнительных капитальных вложений или, сокращенно, *коэффициентом эффективности*.

Сказанное иллюстрируют графики на рис. 1, характеризующие возможные соотношения экономических показателей для двух сравниваемых вариантов решения определенной производственной задачи, например передачи больших мощностей на дальние расстояния.

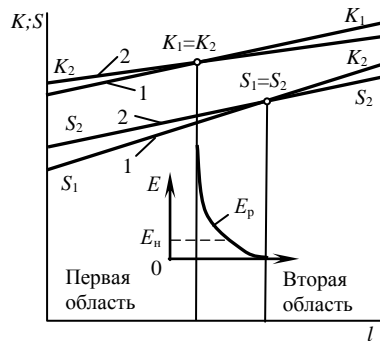


Рисунок 1 – К выбору оптимального варианта решения производственной задачи

Система электропередачи на постоянном токе по сравнению с системой на переменном токе характеризуется сравнительно большими затратами (капитальными и эксплуатационными) на подстанции и меньшими на 1 км линии. Соответственно с изменением длины линии l меняется соотношение суммарных капитальных K и эксплуатационных S затрат по сравниваемым вариантам электропередачи: на переменном токе 1 и постоянном токе 2. Пересечение характеристик издержек производства ($S_1 = S_2$) может в общем случае иметь место как левее вертикали $K_1 = K_2$, так и правее ее. Вертикали, отвечающие значениям $S_1 = S_2$ и $K_1 = K_2$, выделяют три области соотношений экономических показателей: в первой области более целесообразен вариант 1 (так как $K_1 < K_2$ и $S_1 < S_2$); в третьей области – вариант 2 ($K_2 < K_1$ и $S_2 < S_1$), а промежуточная вторая область – зона выбора оптимального варианта. В этой зоне $K_1 > K_2$, но $S_1 < S_2$, и значения расчетного коэффициента эффективности E_p меняются от нуля (при $S_1 = S_2$) до бесконечности (при $K_1 = K_2$).

При $E_p > E_n$ более целесообразен вариант с большими капитальными вложениями. Следовательно, левее вертикали, проходящей через точку $E_p = E_n$ лежит область значений расчетного параметра, при которых более целесообразен вариант 1, а правее – вариант 2.

Норматив сравнительной эффективности E_n характеризует минимальное отношение экономии текущих затрат к дополнительным капиталовложениям, ниже которого более капиталоемкий вариант невыгоден. Следовательно, низкий уровень норматива E_n стимулирует применение более капиталоемких вариантов. Чем шире возможность осуществления капиталовложений, тем ниже может быть норматив E_n . Таким образом, по мере интенсификации производства, роста производительности труда, ускорения технического прогресса и увеличения на этой основе фонда накопления нормативное значение E_n может снижаться. Вместе с тем, чем быстрее прогрессирует техника, тем выше норматив эффективности, тем большую экономию текущих затрат должны обеспечивать капиталовложения.

Проанализируем погрешности, вносимые различными компонентами при расчете площади теплопередающей поверхности. Как известно [4]

$$F_{Т.О.} = \frac{Q}{k \Delta t}, \tag{1}$$

где Q – тепловой поток, Вт; k – коэффициент теплопередачи $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$; Δt – температурный напор $^{\circ}\text{C}$.

Тепловой поток Q определяют по уравнению теплового баланса

$$Q = G \cdot C_p (t' - t''), \quad (2)$$

где G – расход теплоносителя $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$; C_p – теплоемкость $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; t' и t'' – температуры теплоносителя на входе и выходе из ТА.

Следует подчеркнуть, что величина Q существенно зависит от характера процесса, в котором осуществляется перенос теплоты. Так, процессы с фазовым переходом характеризуются более высокими значениями как тепловых потоков, так и интенсивностью переноса. Учитывая разнообразие особенности процессов их можно разделить на три группы:

1. с низкой величиной Q – теплового потока $Q \leq 100$ Вт
2. со средней величиной $100 < Q \leq 1000$ Вт
3. с большими тепловыми потоками $Q > 1$ кВт.

Более информативно и корректно оценивать эти уровни по величине плотности теплового потока $q = \frac{Q}{F} = \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$, однако, такие оценки корректны лишь для одинаковых по геометрической форме или подобных поверхностей. Таким образом, очевидно, что чем выше тепловой поток, тем жестче требования и точности его определения. Однако, для ряда тепловых процессов, например в металлургии [1], при охлаждении заготовок определение Q с точностью 15 ... 20 % является тем уровнем, улучшить который не представляется возможным.

Температурный напор определяется также в зависимости от характера процесса – с фазовыми переходами, или без. Как правило, для повышения точности расчетов F_T о. в процессах с фазовым переходом ее условно делят на две – где идет фазовый переход и где его не происходит. Однако в этом случае определенную трудность представляет определение места и условий окончания фазового перехода.

Кроме этого по величине температур процессы разделяют на обычные ($0^{\circ}\text{C} \leq t \leq 300^{\circ}\text{C}$), низкотемпературные ($-65^{\circ}\text{C} \leq t \leq 0^{\circ}\text{C}$), криогенные ($t < -65^{\circ}\text{C}$) и высокотемпературные ($t > 300^{\circ}\text{C}$).

Не анализируя особенности низкотемпературных и криогенных процессов, подчеркнем, что если в диапазоне температур от 0°C до 300°C точность ее определения можно оценить в $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, то при более высоких температурах оценка точности представляет отдельную задачу.

Коэффициент теплопередачи

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3)$$

связан с температурными параметрами процесса, поскольку определяемые по критериальному уравнению $\alpha_1 \alpha_2$

$$\alpha = \frac{\lambda}{l} \cdot C \operatorname{Re}^m \cdot \operatorname{Pr}^n = \frac{\lambda}{l} \cdot C \frac{w^m l^m}{v^m} \cdot \frac{v^n}{a^n} = \lambda \cdot C \frac{w^m l^{m-1} \cdot v^{n-m}}{a^n}. \quad (4)$$

В этом уравнении λ , a , v определяются по определяющей температуре, таким образом, точность определения температур на входе и выходе в ТА определяют точность определения средних значений теплофизических характеристик теплоносителей. Заметим, что термическое сопротивление теплопроводности стенки $\left(\frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}\right)$ – определяется точно, если задан материал теплообменной поверхности и ее конструктивные размеры.

Ряд недавних исследований [5, 6, 7] показал, что по крайней мере для гофрированных поверхностей показатель степени числа Прандтля, сам является функцией этого числа, то есть

$$n = f(\operatorname{Pr}).$$

Результаты исследований полученных соотношений показали, что они дают лучшие, в смысле точности, результаты, чем рекомендуемое значение $n = 0,33$.

Таким образом, можно заключить, что теплотехнические расчеты уже содержат погрешность в определении $F_{\text{т.о.}}$ 10 ... 20 % и более. Дальнейшее увеличение поверхности (margin) необоснованно ее завышает. Поэтому реконструкция теплообменных аппаратов путем их замены, должна проводиться только по результатам полного технико-экономического анализа. При этом увеличение «длины» теплообменника должно сопровождаться анализом эксплуатационных расходов, поскольку гидравлическое сопротивление трению $\Delta P = f\left(\frac{l}{d}; W\right)$, определяет затраты мощности на прокачивание теплоносителя.

В результате можно сделать следующие выводы

1. Мероприятия по реконструкции теплообменного оборудования должны в обязательном порядке подвергаться анализу с точки зрения оценки эффективности возможных вариантов.
2. Для недопущения повышения степени использования природных ресурсов необходимо производить оценки точности задаваемых при расчете потребной теплообменной поверхности величин и только на основе результатов этого анализа назначать margin.
3. Эксплуатационные расходы при установке нового оборудования не должны превышать имеющиеся, особенно по величине мощности на прокачивание теплоносителей.

Литература

1. Товажнянский Л.Л., Анипко О.Б., Капустенко П.А. и др. Основы энерготехнологии промышленности. Харьков; НТУ «ХПИ» 2002. – 436 с.
2. Теплообменники пластинчатые. Нормативный метод расчета. Харьков, УКРНИИХИММАШ, 1984, 128 с.
3. Standards of Tubular Exchanger Manufactures Association, 4th ed, 1974.

4. Kreith F., Principles of Heat transfer, 3rd. ed, Lutext Publishers Group, N. Y., 1973.
5. Анипко О.Б., Горбунов К.А. О влиянии критерия Прандтля на теплопередачу // Интегрированные технологии и энергосбережение. № 4, 2011.
6. Анипко О.Б., Арсеньева О.П. Надежность пластинчатых теплообменных аппаратов систем отопления и горячего водоснабжения с учетом образования загрязнений на теплопередающей поверхности // Интегрированные технологии и энергосбережение. № 4, 2003, с. 9–13.
7. Sushant Kumar, Bolkrisha Mehta, Sameer Khandekar. Effect of Prandtl number on internal convective heat transfer in laminar single-phase pulsating flows. Электронный ресурс. Режим доступа home.litk.ac.in/~samkhan/bio_data/publikations.

Bibliography (transliterated)

1. Tovazhnyanskyu L.L., Anipko O.B., Kapustenko P.A. i dr. Osnovyi energotekhnologii promyshlennosti. Harkov; NTU «HPI» 2002. – 436 p.
2. Teploobmenniki plastinchatyie. Normativnyiy metod rascheta. Harkov, UKR-НИИММШ, 1984, 128 p.
3. Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 4th ed, 1974.
4. Kreith F., Principles of Heat transfer, 3rd. ed, Lutext Publishers Group, N. Y., 1973.
5. Anipko O.B., Gorbunov K.A. O vliyaniy kriteriya Prandtlya na teploperedachu. Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie. # 4.– 2011.– P. 94–98.
6. Anipko O.B., Arseneva O.P. Nadezhnost plastinchatyih teploobmennyih apparatov sistem otopeniya i goryachego vodosnabzheniya s uchetom obrazovaniya zagryazneniy na teploperedayuschey poverhnosti. Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie. # 4, 2003, P. 9–13.
7. Sushant Kumar, Bolkrisha Mehta, Sameer Khandekar. Effect of Prandtl number on internal convective heat transfer in laminar single-phase pulsating flows. Elektronnyiy resurs. Rezhim dostupa home.litk.ac.in/~samkhan/bio_data/publikations.

УДК 536.2

Бабич М.І.

**РОЗРАХУНКОВІ ПОКАЗНИКИ ПЛАСТИНЧАТИХ ТЕПЛОБМІННИКІВ
ТА ДЕЯКІ АСПЕКТИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ
РЕСУРСІВ**

Наведено дані аналізу щодо завищення розміру теплообмінної поверхні відносно розрахункового значення. Показано, що збільшення поверхні призводить не тільки до збільшення експлуатаційних витрат, але й до підвищення інтенсивності вичерпування природних ресурсів.

Babich M.I.

**CALCULATION OF THIS INDICATOR PLATE HEAT EXCHANGERS
AND SOME ASPECTS OF NATURAL RESOURCE MANAGEMENT**

Data analysis for overstating the size of the heat exchange surface relative to the calculated value. It is shown that increasing the surface not only leads to an increase in operating costs, but also to increase the intensity of depletion of natural resources.

УДК 66.011.002.5:661.152

Дудка С.В., Подустов М.О., Дзевочко О.М., Рищенко І.М., Кушинський С.І.

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЦТВА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Вступ. Найважливішими проблемами сучасних світових економічних відносин продовжують залишатися продовольча, пов'язана із зростанням чисельності населення планети та рішення задач екологічної безпеки, яка пов'язана зі збільшенням кількості відходів виробництва. Одним з рішень цих проблем може стати використання високоефективних мінеральних добрив, які підвищують урожайність на одиницю оброблюваної площі, при цьому кількість відходів пов'язаних з їх виробництвом зводяться до мінімуму.

Мета роботи. Розробка енергоефективної і екологічно безпечної технології отримання нового азотно-фосфорного добрива марки NPS 10:40:5.

Аналіз літературних даних. Одним з основних компонентів виробництва азотно-фосфорних добрив є фосфорна кислота. Її виробництво пов'язане з сірчаноокислотним розкладанням фосфатної сировини, яка характеризується істотним недоліком - утворенням великотоннажного відходу виробництва фосфогіпсу. Автори [1] при виробництві гранульованих азотно-фосфорних мінеральних добрив пропонують часткову заміну частини P_2O_5 ортофосфорної кислоти на P_2O_5 фосфатної сировини, що дає можливість знизити кількість утвореного фосфогіпсу до 0,875 т на т 100% P_2O_5 мінерального добрива NP 10:40.

В дослідженнях [2, 3] показано кінетику процесу гранулоутворення, як основоположного при виробництві мінерального добрива NPS 10:40:5 і вказані шляхи підвищення його енергоефективності. В роботі [4] дані рекомендації по веденню процесу гранулоутворення на підставі математичного моделювання. Так для забезпечення виходу з барабанного гранулятора-сушарки (БГС) добрив фракцій 1,5–4 мм = 97 %, 0,5–1,5 мм = 1 %, 4–6 мм = 2 % і, як наслідок підвищення енергоефективності, необхідно вести технологічний процес при таких параметрах: розрідження $P_p = 0,011–0,018$ кПа, діаметр крапель розпилюємої пульпи $d_k = 0,102–0,115$ мм, температура сушильного агента на виході БГС, $T_{вих} = 370,9–374,1$ К, співвідношення $CaO/SO_3 = 1,81–1,91$, співвідношення $P_2O_5/SO_3 = 8,3–8,6$, вологість $W = 43,1–43,9$ %. Підтримання технологічних параметрів в таких межах дало б можливість виключити з технологічної схеми ряд стадій, що підвищить енергоефективність та рівень екологічної безпеки даного виробництва.

Матеріали і результати досліджень. На підставі раніше отриманих експериментальних даних і рекомендацій одержаних методом математичного моделювання були розроблені пропозиції щодо проведення дослідно-промислових випробувань. Дослідно-промислові випробування проводилися на ПАТ «Суміхімпром» в цеху гранульованого суперфосфату.

Апаратурно-технологічна схема одержання мінеральних добрив NPS 10:40:5 представлена на рис. 1.

Як видно з рисунку процес гранулювання мінеральних добрив складається з

наступних стадій: пульпоутворення, гранулювання, класифікації, дріблення, пилогазоочистки.

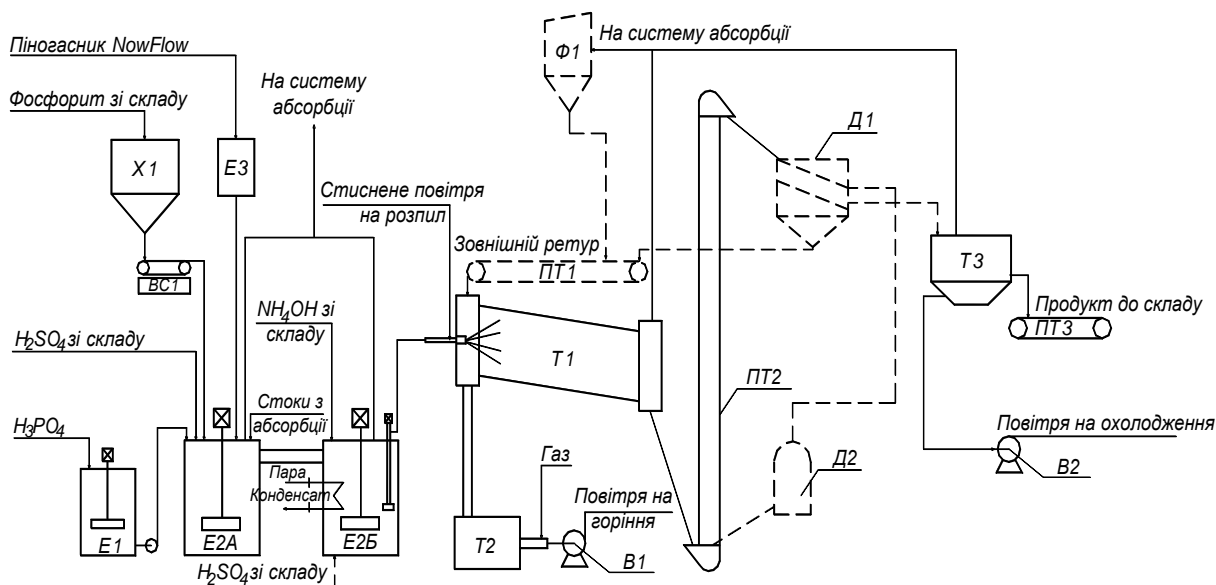


Рисунок 1 – Апаратурно-технологічна схема одержання мінеральних добрив NPS 10:40:5

E1 – збірник фосфорної кислоти; E2A, E2Б – реактори; E3 – ємність для піногасника;
 X1 – бункер фосфориту; Д1 – грохота; Д2 – дробила; Т1 – барабанний гранулятор-сушилка;
 Т2 – топка; Т3 – охолоджувач; Ф1 – циклон; ПТ1 – скребковий транспортер; ПТ2 – елеватор;
 ПТ3 – транспортер; В1, В2 – вентилятори

Отримання пульпи здійснюється в двухреакторному апараті поз. E2A і E2Б.

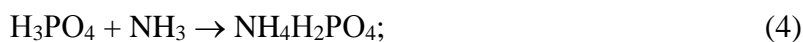
В реакторі 1-ої ступені поз. E2A відбувається розкладання фосфориту. Його можна описати рівнянням для основної мінералогічної фракції:



У сірчаноокислотному середовищі розкладається монокальційфосфат



В реакторі 2-го ступеня поз. E2Б відбувається амонізація пульпи, при цьому система нейтралізується до повної відсутності вільної кислотності, тобто водневий показник повинен бути не менше 4. Хімізм реакції нейтралізації вільних фосфорної і сірчаної кислот можна проілюструвати наступними рівняннями реакцій



Основними технологічними параметрами даної стадії є масові співвідношення P_2O_5/SO_3 , CaO/SO_3 і вологість пульпи.

Процес отримання складного мінерального добрива вівся при співвідношеннях показників $P_2O_5/SO_3 = 8,6$, $CaO/SO_3 = 1,91$, де SO_3 визначалася як вміст сульфатів у фільтраті. Ці співвідношення забезпечують необхідний хімічний склад добрива і значення еквівалентного діаметра кристалів сульфату кальцію, як джерел центрів гранулоутворення, на рівні 0,09–0,1 мм. Важливу роль на стадії пульпоутворення відіграє вологість пульпи, як джерело сил зчеплення між частинками в момент їх зіткнення на стадії гранулювання. Для забезпечення необхідної вологості, яка дорівнюється 43 % в реактор поз. Е2Б був вбудований теплообмінник. В якості фосфатної сировини застосовувався сирійський фосфорит, використовуваний в даний час на території України для виробництва фосфорної кислоти і добрив на її основі, який характеризується високим вмістом карбонатів, що призводить до посиленого піноутворення, тому для його зниження в реактор поз. Е2Б додавався піногасник.

Далі нейтралізована пульпа з реактора 2-ого ступеню подавалася на стадію гранулювання і сушіння в апарат БГС поз. Т1. Він являє собою нахилений у бік вивантаження барабан, який спирається бандажами на дві опорні станції і обертається зі швидкістю 3–5 об/хв. Завантажувальна камера має патрубки для підведення теплоносія. У БГС відбувається укрупнення існуючих частинок і поява нових. Для диспергування пульпи встановлена пневматична форсунка з завихрювачем, яка при тиску стисненого повітря 1,5–3,5 кгс/см², забезпечує діаметр часток краплі $d_k = 0,11$ мм. Гранулювання відбувається при взаємодії крапель пульпи з "завісою", що складається з частинок готового продукту і надходить з внутрішнього ретуру. Для забезпечення теплового подрібнення гранул і необхідної кількості внутрішнього ретуру в зоні гранулювання температура сушильного агента на виході з апарату БГС становила 374 К і розрідження 0,016 кПа.

За результатами випробувань був отриманий готовий продукт з фракцією 1,5–4 мм = 97 %, 0,5–1,5 мм = 2,0 %, 4–6 мм = 1,0 %, який охолоджувався в охолоджувачі Т3 і відправлявся на склад по транспортеру ПТ3.

Отримані мінеральні добрива NPS 10:40:5 являли собою гранули світло-сірого кольору з наступною характеристикою: масова частка N – 9,4 %; масова частка P_2O_5 – 42,6 %; масова частка S – 5,0 %; масова частка H_2O – 0,85 %.

Результати дослідно-промислових випробувань показали, що отримавши мінеральне добриво з вмістом основної мінералогічної фракції на рівні 97 % можна повністю виключити стадії класифікації та дріблення, а значить виключити подачу зовнішнього ретуру в барабанний гранулятор-сушарку. На рис. 1 штриховими лініями показано обладнання, яке виключається із технологічної схеми. З технологічної схеми виводяться 2 дробарки потужністю 5,5 кВт, 2 грохоти потужністю 10 кВт, що значно підвищує енергоефективність процесу гранулювання. Звівши до мінімуму вміст дрібної фракції ми практично мінімізуємо кількість пилу в процесі і відповідно значно зменшуємо навантаження на систему пилогазоочищення, тим самим вирішуються питання екологічної безпеки даного виробництва. Результати випробувань показали, що викиди пилу в атмосферу були знижені в 2 рази.

Після проведення дослідно-промислових випробувань були проведені балансові техніко-економічні розрахунки. Їх результатом стали норми витрати сировини та енергоресурсів. На підставі балансових випробувань був проведений розрахунок собівартості 1 т добрива NPS 10:40:5 (табл. 1).

Таблиця 1 – Розрахунок собівартості 1 т добрив NPS 10:40:5

Найменування статей калькуляції	Одиниці виміру	Кількість		Ціна, грн.	Сума	
		Базовий	Новий		Базовий	Новий
Сировина та матеріали						
Фосфорна кислота	т	0,39	0,39	4084	1592,96	1592,96
Фосфорит	т	0,03	0,03	1280	38,4	38,4
Сірчана кислота	т	0,135	0,135	2632	355,32	355,32
Аміачна вода	т	0,129	0,129	1650	212,85	212,85
Вапняне молоко	м ³	0,0375	0,0375	850	31,87	31,87
Антислежувач	кг	1	1	17,6	17,6	17,6
Олія індустріальна	кг	0,01	0,01	100	1	1
Піногасник	кг	0	0,2 ¹	15,2 ¹	0	3,04 ¹
Паливо та енергія на технологічні цілі						
Топливо	тут	0,116	0,117 ²	2119	245,8	247,9 ²
Електроенергія	кВт/ч	141	105 ³	0,57	80,37	59,85 ³
Пара	Гкал	0,06	0,22 ⁴	400	24	88 ⁴
Промвода	м ³	0,25	0,25	0,63	0,16	0,16
Освітлена вода	м ³	0,76	0,76	0,71	0,54	0,54
Стиснене повітря	нм ³	95	95	0,089	8,45	8,45
Прямі витрати на оплату праці	грн	–	–	–	594,77	535,3 ⁵
Загальновиробничі витрати	грн	–	–	–	58,12	44,2 ⁶
Інші виробничі витрати	грн	–	–	–	0,03	0,03
Адміністративні витрати	грн	–	–	–	30,64	30,64
Витрати на збут	грн	–	–	–	6,74	6,74
Разом	грн				3299,62	3274,85

Примітки:

1 – для запобігання утворення піни в промисловій установці додавався піногасник Now Flow з витратою 0,2 кг/т;

2 – згідно з рекомендаціями температура сушильного агента на виході БГС збільшилася з 368 К до 374 К, то відповідно збільшилась витрата природного газу з 0,116 тут до 0,117 тут;

3 – економія електроенергії відбувається за відсутності системи класифікації готового продукту;

4 – для розпарювання пульпи в реакторі Е2Б додатково було організовано підведення пари. Для цього в реакторі додатково був змонтований теплообмінник;

5 – у зв'язку з скороченням зони обслуговування обладнання на стадії класифікації, були скорочені посади апаратника розсіву 4-го розряду та слюсаря 3-го розряду;

6 – за рахунок зменшення амортизаційних відрахувань.

Як видно з табл. 1 собівартість 1 т готового продукту знижується на 25 грн.

Результати техніко-економічних показників наведені в табл. 2.

Результати наведені в табл. 2 показують, то збільшується річна продуктивність більш ніж на 60 %, річний економічний ефект склав 1,4 млн грн.

Таблиця 2 – Техніко-економічні показники

Найменування статті калькуляції	Сума, грн.	
	Базовий варіант	Модернізований варіант
Річна продуктивність, т	63360	102960
Капітальні вкладення:		
– Вартість форсунки	0	500
– Вартість теплообмінника	0	300000
– Вартість монтажних робіт	0	60000
– Оплата праці	0	6000
Разом	0	366500
Експлуатаційні витрати:		
– Сировина та матеріали	147127533	239564366
– Пальне та енергія	21771763	40999702
– Витрати на оплату праці	37684627	55114488
– Поточний ремонт	980000	500000
– Амортизація	1500000	1000000
Разом	209063923	337178556
Річний економічний ефект	1401125	

Висновки. У ході дослідно-промислових випробувань на ПАТ "Сумихімпром" напрацьовано близько 103 тис. т добрив NPS 10:40:5, при цьому була зменшена собівартість 1 т добрива на 25 грн. Річний економічний ефект склав 1,4 млн грн. Ця технологія відрізняється від базового варіанта тим, що збільшена продуктивність установки, продукт після БГС має товарну фракцію 97 %, що підвищує енергоефективність виробництва за рахунок виключення систем класифікації, дроблення, пилеочистки, транспортування зовнішнього ретура.

Введення в склад добрива фосфорита забезпечило зменшення обсягу утворення фосфогіпсу на 0,875 т і зниження витратної норми сірчаної кислоти в кількості 0,3 т на 1 т 100 % P₂O₅ мінерального добрива NPS 10:40:5. Значно знизилися викиди пилу в атмосферу без додаткових капітальних витрат на систему очищення.

Література

1. Дудка С.В. Использование фосфогипса – техногенного отхода фосфорнокислотной промышленности – в производстве минеральных удобрений / Р.Н. Клименко, С.В. Дудка // Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов: сборник научных трудов XVII Международной научно-технической конференции, 08–12 июня 2009 г., Алушта.– Харьков: «УкрВодгео», 2009.– С. 89–95.
2. Дудка С.В. Исследование процесса пульпообразования в технологии гранулирования фосфоросодержащих удобрений марки «Суперагро NPS 10:40:5» / С.В. Дудка, В.И. Тошинский, Р.Н. Клименко // Інтегровані технології та енергозбереження.– Харків: НТУ «ХПІ», 2012.– № 3.– С. 97–104.
3. Дудка С.В. Исследование процесса грануляции и сушки в технологии удобрений марки «Суперагро NPS 10:40:5» / С.В. Дудка, В.И. Тошинский // Східно-

європейський журнал передових технологій.– Харків: ЧП "Технологічний центр", 2012.– № 4.– С. 7–10.

4. Дудка С.В. Розробка математичної моделі і програмного забезпечення процесу гранулоутворення мінеральних добрив / С.В. Дудка, М.О. Подустов, О.М. Дзевочко, І.М. Рищенко, С.І. Кушинський // Інтегровані технології та енергозбереження.– Харків: НТУ «ХПІ», 2015.– № 1.– С. 37–41.

Bibliography (transliterated)

1. Dudka S.V. Ispolzovanie fosfogipsa – tehnogenogo othoda fosfornokis-lotnoy promyishlennosti – v proizvodstve mineralnykh udobreniy. R.N. Klimenko, S.V. Dudka. Ekologicheskaya i tehnogenaya bezopasnost. Ohrana vodnogo i vozdušnogo basseynov. Utilizatsiya othodov: sbornik nauchnykh trudov XVII Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii, 08–12 iyunya 2009 g., Alushta.– Harkov: «UkrVodgeo», 2009.– P. 89–95.

2. Dudka S.V. Issledovanie protsessa pulpoobrazovaniya v tehnologii granulirovaniya fosforosoderzhaschikh udobreniy marki «Superagro NPS 10:40:5». S.V. Dudka, V.I. Toshinskiy, R.N. Klimenko. Integrovani tehnologiyi ta energozberezhnya.– Harkiv: NTU «HPI», 2012.– # 3.– P. 97–104.

3. Dudka S.V. Issledovanie protsessa granulyatsii i sushki v tehnologii udobreniy marki «Superagro NPS 10:40:5». S.V. Dudka, V.I. Toshinskiy. Shidno-Evropeyskiy zhurnal peredovih tehnologiy.– Harkiv: ChP "Tehnologichniy tsentr", 2012.– # 4.– P. 7–10.

4. Dudka S.V. Rozrobka matematichnoyi modeli i programnogo zabezpechennya protsesa granuloutvorenniya mineralnih dobriv. S.V. Dudka, M.O. Podustov, O.M. Dzevoshko, I.M. Rischenko, S.I. Kushinskiy. Integrovani tehnologiyi ta energozberezhnya.– Harkiv: NTU «HPI», 2015.– # 1.– P. 37–41.

УДК 66.011.002.5:661.152

Дудка С.В., Подустов М.А., Дзевочко А.М., Рищенко И.М., Кушинский С.И.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

В статье приведены результаты опытно-промышленных испытаний процесса гранулообразования минеральных удобрений NPS 10:40:5. Показана возможность получения товарной фракции удобрений на уровне 97 %, чем исключаются стадии классификации, дробления и частично пылегазоочистки. Это значительно повышает энергоэффективность и экологическую безопасность данного производства.

Dudka, S.C., Podustov M.A., Dzevoshko A.M., Rushenko I.M., Kushinsky S.I.

ENERGY EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL SAFETY OF PRODUCTION OF MINERAL FERTILIZERS

In the article the results of experimental-industrial tests of the process granulometry mineral fertilizers NPS 10:40:5. The possibility of obtaining marketable fractions of fertilizers at the level of 97 %, than excluded sizing, crushing and partially dust removal. This significantly increases the energy efficiency and ecological safety of the production.

УДК: 621.231

Накашидзе Л.В., Габринец В.А., Трофименко А.В.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЭНЕРГОАКТИВНЫХ ОГРАЖДЕНИЯХ

Введение. Проблема эффективного использования энергоносителей для энергообеспечения объектов гражданского и промышленного предназначения обуславливает необходимость проведения мероприятий по энергосбережению, в первую очередь, активное использование технических решений, позволяющих эффективно использовать энергию альтернативных источников, таких как энергия солнечного излучения, тепла окружающей среды и т.п. При этом все технические решения должны учитывать соединение трех важнейших составляющих: экономики, экологии и комфорта [1]. Такой подход позволит значительно уменьшить расходы на функционирование систем энергообеспечения, существенно сократить выбросы парниковых газов и повысить комфорт эксплуатации дома. Известно, что тепловой комфорт характеризуется физиологическим состоянием человека, при котором центральная нервная система получает наименьшее количество внешних раздражений, а механизмы терморегуляции испытывают наименьшее напряжение.

В [1] подчеркивается, что потребность в тепловой энергии, необходимой для обогрева, в типовых жилых домах должна составлять приблизительно 120 кВт·ч/(м²·год). Однако расчеты, выполненные Институтом пассивных домов при NARE (Национальном агентстве учета энергии в Польше), показали, что это значение во многих домах значительно больше и может достигать до 160 кВт·ч/(м²·год). Для снижения потребности на энергообеспечения сооружений разработан ряд подходов и современных технических решений. Так [1], например, в проектах энергосберегающих домов из Коллекции Муратора применены комплексные конструктивные решения, а также использованы современные решения системы вентиляции, центрального отопления и горячего водоснабжения. При этом приняты во внимание аспекты, способствующие уменьшению теплопотерь:

- снижение теплопотерь почти на 80 %, за счет применения принудительной вентиляции с рекуперацией тепла при подаче приточного воздуха через грунтовой теплообменник и обеспечение герметичности здания;
- применение энергосберегающих окон и наружных дверей, что позволяет снизить потерю тепла до 20–25 %.
- использование «пассивной» наружной теплоизоляции привело к сокращению теплопотери почти на 40 %;
- теплоизоляция крыш увеличенным слоем теплоизоляции, позволила сократить потери тепла на 35 %;
- увеличение толщины слоя теплоизоляции пола на грунте позволило уменьшить теплопотери почти на 35 %;
- применение конструктивных решений, в которых отсутствуют мостики холода, позволили уменьшить потери тепла более чем на 50 %.

Одним из перспективных направлений энергосбережения является разработка и внедрение энергоактивных ограждений. Идея использования энергоактивных

ограждений [2] является результатом поиска авторами статьи путей наиболее экономичных способов энергосбережения, энергообеспечения и рекуперации энергетических потоков объектов гражданского и промышленного назначения. Основная цель внедрения разработанного технического решения является обеспечения производства энергии непосредственно на объекте.

Энергоактивные ограждения предназначены для обеспечения тепловой защиты сооружения [3, 4], кроме того, способствовать замещению определенной части традиционных энергоносителей, воспринимая и преобразуя энергию альтернативных источников (солнечного излучения, тепла окружающей среды, тепловых потоков вентиляционных сбросов и т.п.). По сравнению с распространенными ограждающими конструкциями (пассивными), энергоактивные ограждения позволяют, регулируемо получать, преобразовывать, перераспределять и аккумулировать энергию. Их использование обеспечивает положительный энергетический баланс между поступлением энергии от солнечного излучения и окружающей среды и ее потерями [3, 4].

Важным аспектом успешного внедрения энергоактивных ограждений является точность прогнозирования и математическое описание тепловых процессов, которые происходят в многослойной конструкции энергоактивного ограждения при поступлении тепловой энергии солнечного излучения.

Прогнозирование тепловых процессов в энергоактивном ограждении. Точность прогнозирования эффективности преобразования солнечного излучения при функционировании энергоактивных ограждений в системе энергообеспечения зависит от многих факторов. В первую очередь от полноты информации о тепловом потоке, градиенте температур, распределении температур внутри объема ограждающих конструкций сооружения.

Математическое описание процесса преобразования теплового потока солнечного излучения в энергоактивных ограждениях, основано не только на дифференциальном уравнении теплопроводности Фурье. Либо дифференциальным уравнением Пуассона, в случае стационарного температурного поля. Оно определяется условиями однозначности, представляемыми в виде дополнительных уравнений. Условия однозначности включают в себя геометрические, физические, временные и граничные условия [5].

Геометрические условия характеризуют геометрические и линейные размеры энергоактивного ограждения, преобразующие энергию солнечного излучения, т.е. участвующего в процессе теплопроводности.

Физические условия характеризуют физические свойства тела, среды (λ – коэффициент теплопроводности, c – удельная массовая теплоемкость, ρ – плотность материала, a – коэффициент температуропроводности) или задается закон внутреннего тепловыделения.

Временные или начальные условия характеризуют особенности протекания процесса во времени или распределение температуры внутри энергоактивного ограждения в начальный момент времени: при $\tau = 0$ и $T = f(x, y, z)$. Очень часто в начальный момент времени тело имеет равномерную одинаковую температуру по всему объему: $\tau = 0$ и $T = T_0 = \text{const}$.

Граничные условия характеризуют процессы теплообмена между поверхностью энергоактивного ограждения и окружающей средой. Особенности определения граничных условий для энергоактивных ограждений представлены в [6].

Материалы, используемые при изготовлении энергоактивного ограждения, выбираются таким образом, что их физические свойства постоянны, деформации внутри объема энергоактивного ограждения незначительны по сравнению с объемом конструкции, макрочастицы внутри энергоактивного ограждения неподвижны относительно друг друга. Поэтому уравнение теплопроводности Фурье и его частные случаи выполняется.

Так как энергоактивное ограждение представляет собой плоскую многослойную структуру, то для определения теплового потока Q (Вт) и распределения температуры T внутри энергоактивного ограждения целесообразно принять ряд допущений, в соответствии с рекомендациями в [5]. Конструкцию энергоактивного ограждения можно рассматривать как плоскую, однородную, изотропную, неограниченную (размеры по ширине намного больше толщины) δ пластину, выполненную из материала с коэффициентом теплопроводности λ . Температура T_1 (при $x = 0$) – одинакова на всей поверхности F энергоактивного ограждения интегрированного в фасад и/или крышу сооружения; температура T_2 (при $x = \delta$) одинакова на всей поверхности F . Температура стенки меняется только по толщине в направлении оси x , а по оси y и z остается постоянной.

Распространение теплового потока в энергоактивном ограждении можно рассматривать как явление стационарного распространения теплоты в плоской стенке, которое описывается дифференциальным уравнением теплопроводности в форме

$$\text{одномерного уравнения Лапласа [5]} \quad \frac{d^2T}{dx^2} + \frac{W}{\lambda} = 0, \quad \frac{d^2T}{dx^2} = 0.$$

Исходя из одномерного уравнения Лапласа, возможно спрогнозировать распределение температуры внутри плоской поверхности энергоактивного ограждения. В соответствии с [5] оно имеет линейный характер

$$T = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{\delta} x,$$

где T_1 – температура одинакова на всей поверхности F (при $x = 0$); T_2 – температура одинакова на всей поверхности F (при $x = \delta$); δ – толщина энергоактивного ограждения; λ – коэффициент теплопроводности.

С помощью уравнения Фурье можно получить выражение для определения теплового потока [5], проходящего через слой энергоактивного ограждения

$$Q = qF = \frac{\lambda}{\delta} F(T_1 - T_2) = \frac{F(T_1 - T_2)}{R_{пл}},$$

где Q – количество теплоты, переданное в единицу времени, или тепловой поток (Вт), через плоскую стенку; λ – коэффициент теплопроводности материала; F – площадь поперечного сечения; $\Delta T = T_1 - T_2$ – температурный напор; δ – толщина стенки; $R_{пл}$ –

термическое сопротивление теплопроводности плоского слоя, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$;
 $R_{\text{пл}} = \delta / \lambda = F (T_1 - T_2) / Q = (T_1 - T_2) / q$.

Энергоактивное ограждение является многослойной конструкцией, которая состоит из нескольких разнородных слоев [3].

На рис. 1 представлен вариант энергоактивного ограждения, имеющий три слоя. Толщина каждого слоя $\delta_1, \delta_2, \delta_3$. Коэффициент теплопроводности соответственно $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$.

Если принять допущение, удельный тепловой поток постоянен и для всех слоев одинаков, то

$$q = \frac{\lambda_1}{\delta_1} (T_1 - T_2), \quad q = \frac{\lambda_2}{\delta_2} (T_2 - T_3), \quad q = \frac{\lambda_3}{\delta_3} (T_3 - T_4).$$

После соответствующих преобразований, суммарный тепловой напор:

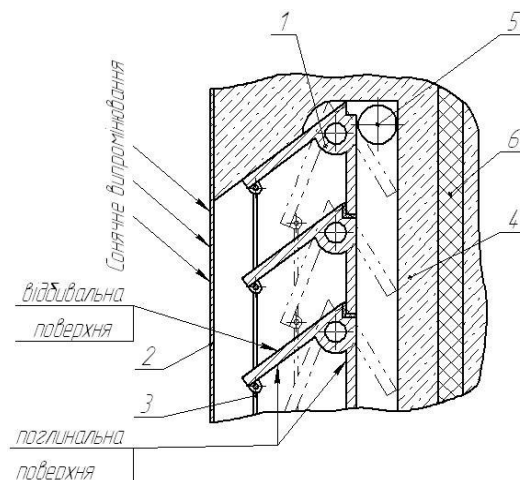
$$T_1 - T_4 = q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right).$$

Удельный тепловой поток:

$$q = \frac{(T_1 - T_4)}{\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right)}.$$

Тепловой поток

$$Q = qF = F \frac{(T_1 - T_4)}{\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right)}.$$



1 – теплообменные трубы, 2 – светопрозрачное покрытие, 3 – тяги, 4 – стена сооружения,
5 – вентиляционный канал, 6 – теплоизоляция

Рисунок 1 – Вариант энергоактивного ограждения, предотвращающего перегрев сооружения

В расчетной формуле для многослойной стенки энергоактивного ограждения принято допущение об идеальном тепловом контакте. Но в реальном энергоактивном ограждении между слоями образуются воздушные зазоры. Так как теплопроводность воздуха мала, то наличие даже очень тонких зазоров может сильно повлиять в сторону уменьшения эквивалентного коэффициента теплопроводности многослойного энергоактивного ограждения, что необходимо учитывать при расчете систем энергообеспечения, использующих энергию солнечного излучения.

Следующим важным моментом прогнозирования эффективности функционирования энергоактивного ограждения является определение потока теплоты на внутренней поверхности конструкции.

В соответствии с [5] распределение температур в представленном на рис. 1 энергоактивном ограждении имеет вид (рис. 2)

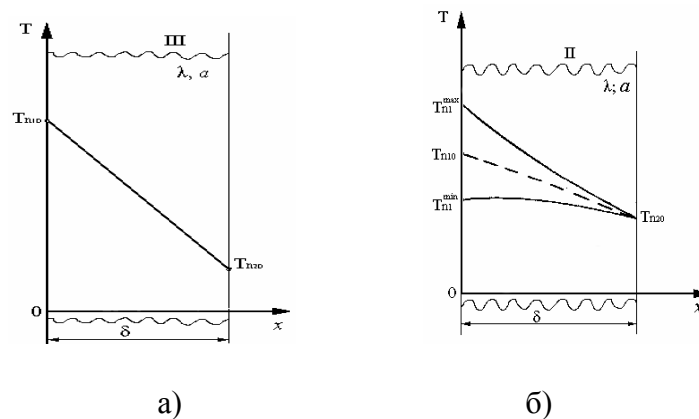


Рисунок 2 – Изменение температуры по толщине стенки при стационарном (а) режиме и при гармоническом изменении температуры внутри помещения (б)

В реальном сооружении изменение температуры происходит как на внешней поверхности, в качестве которой предлагается использовать энергоактивное ограждение, подвергающееся воздействию природных факторов, так и на внутренней поверхности сооружения. Решение задачи при двусторонних колебаниях температуры на поверхности плоской стенки представляет большую сложность.

Среди ряда известных методик, целесообразным представляется определение теплового потока с помощью метода респонс-фактора (т.е. дополнительный тепловой поток положительного или отрицательного знака, возникающий в системе как отклик на температурное возмущение) упрощается благодаря возможности пользоваться выводами для случая односторонних температурных волн. В соответствии с методикой предложенной в [5] для энергоактивного ограждения, возможно рассматривать, по отдельности четыре различных случая:

Случай I – температура внутри помещения и на улице остается постоянной. При поступлении теплового потока солнечного излучения на поверхность энергоактивного ограждения наблюдается обычная проникающая теплопередача (рис. 2, а).

Случай II – температура на улице остается постоянной, температура внутри помещения меняется по гармоническому закону, максимальное отклонение температуры внутри энергоактивного ограждения наблюдается относительно линии 0 – 0 (рис. 2, б).

Случай III – температура в помещении остается постоянной, температура на улице меняется по гармоническому закону, максимальное и минимальное отклонение температуры внутри энергоактивного ограждения наблюдается относительно линии 0 – 0.

Случай IV – тепловой поток на внутренней поверхности стенки при тепловом воздействии всех случаев одновременно.

Однако в реальном процессе теплового воздействия солнечного излучения на энергоактивное ограждение с внешней стороны и тепловое воздействие системы теплообеспечения с внутренней стороны сооружения позволяет рассматривать только комбинированное сочетание этих случаев.

Так, в энергоактивном ограждении респонс-фактор, вызванный на внешней поверхности тепловым воздействием солнечного излучения

$$(\Delta q)_{II} = q_{II} - q_{0I} = \lambda \vartheta_{III}^{\max} k_{II}.$$

Респонс-фактор, вызванный на поверхности энергоактивного ограждения температурным изменением температуры внутри помещения:

$$(\Delta q)_{III} = q_{III} - q_{0I} = \lambda \vartheta_{IIIII}^{\max} k_{III} e^{-k_{III} \delta}.$$

Случаи II и III в отдельности встречаются крайне редко. Чаще они действуют одновременно. Их одновременное действие и характеризуется свойствами респонс-факторов:

$$q_{\text{ист}} = q_{0I} + \Delta q_{II} + \Delta q_{III}.$$

После подстановки q_{0I} , Δq_{II} , Δq_{III} в $q_{\text{ист}}$ получаем

$$q_{\text{ист}} = \frac{\lambda}{\delta} (T_{II10} - T_{II20}) + \lambda \vartheta_{IIII}^{\max} k_{II} - \lambda \vartheta_{IIIII}^{\max} k_{III} e^{-k_{III} \delta}.$$

Следовательно, тепловой поток, воздействующий на энергоактивное ограждение, состоит из потока на внутренней поверхности ограждения, который будет иметь место, если произойдет температурное возмущение слева от T_{II10} до t_{\max} и справа от T_{II20} до T_{II2}^{\max} .

Используя представленный подход можно получить расчетные выражения и для других вариантов энергоактивных ограждений, которые представлены в [2], такие как:

- энергоактивные ограждения с поворотными теплопоглощающими элементами;
- энергоактивные ограждения предотвращающие перегрев сооружения;
- энергоактивные ограждения с изолированными секциями;
- энергоактивные ограждения с дополнительной воздушной прослойкой;

– гелиопрофиль.

Выводы. Применение представленного алгоритма расчетов тепловых процессов в энергоактивных ограждениях при поступлении теплового потока солнечного излучения позволит еще на этапе проектирования:

- спрогнозировать эффективность их функционирования;
- выбрать наиболее эффективное конструктивное решение энергоактивного ограждения для рассматриваемого сооружения;
- спрогнозировать коэффициент замещения потребления традиционных энергоносителей на энергию альтернативных источников и т.п.

Системы энергообеспечения, которые будут спроектированы с учетом смоделированных процессов, позволят экономить в 2-3 раза количество потребляемых энергоносителей, таких как газ, уголь и др.

Обозначения: λ – коэффициент теплопроводности, c – удельная массовая теплоемкость, ρ – плотность материала, a – коэффициент температуропроводности, F – площадь поверхности энергоактивного ограждения, T_1 – температура одинакова на всей поверхности F (при $x = 0$); T_2 – температура одинакова на всей поверхности F (при $x = \delta$); Q – количество теплоты, переданное в единицу времени, или тепловой поток (Вт), через плоскую стенку; λ – коэффициент теплопроводности материала; F – площадь поперечного сечения, $\Delta T = T_1 - T_2$ – температурный напор; δ – толщина стенки; $R_{пл}$ – термическое сопротивление теплопроводности плоского слоя.

Литература

1. Фирлонг Ш. Как дома стали энергосберегающими? http://www.muratordom.com.ua/glavnaya-stranitsa/bolee-teplyj-dom-eto-okupaetsya/kak-doma-stali-energoberegayushimi,295_27575.html.
2. Патент на корисну модель Україна № 201014333, МПК F24J2/50, E04B1/76, Энергоактивне огороження/ В.О. Габринєць, Г.І. Зарівняк, С.О. Митрохов, Л.В. Накашидзе, від 25.07.2011, бюл. №14.
3. Габринєць В.О. Особливості побудови енергоактивних огорожень у складі систем енергозабезпечення на основі ВДЕ / В.О. Габринєць, В.Л.Марков, С.О. Митрохов, В.І. Зарівняк, Л.В. Накашидзе // Відновлювана енергетика №3. – К.: ІВЕ НАН України, 2010. – С. 31–34.
4. Зарівняк Г.И. Энергоактивные ограждения в составе систем теплоснабжения, использующих нетрадиционные возобновляемые источники энергии / Г.И. Заривняк, В.А. Габринец, Л.В. Накашидзе, В.Л. Марков, С.А. Митрохов // Збірник наукових праць „Перспективні задачі інженерної науки”. – Д.: GAUDEAMUS, 2009. – С. 39–44.
5. Фокин В.М. Основы энергосбережения в вопросах теплообмена / В.М. Фокин, Г.П. Бойков, Ю.В. Видин, – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2005. 192 с.
6. Накашидзе Л.В. Определение условий для составления математической модели прогнозирования теплотехнических свойств энергоактивных ограждений, использующих энергию альтернативных источников / Л.В. Накашидзе // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – №15. – 2014. – С. 205–212.

Bibliography (transliterated)

1. Firlong Sh. Kak doma stali energosberegayuschimi? http://www.muratordom.com.ua/glavnaya-stranitsa/bolee-teplyj-dom-eto-okupaetsya/kak-doma-stali-energosberegayuschimi,295_27575.html.
2. Patent na korisnu model Ukrayina # 201014333, MPK F24J2/50, E04B1/76, Energoaktivne ogorodzhennya. V.O. Gabrinets, G.I. Zarivnyak, S.O. Mitrohov, L.V. Nakashidze, vId 25.07.2011, byul. #14.
3. Gabrinets V.O. Osoblivosti pobudovi energoaktivnih ogorodzen u skladi sistem energozabezpechennya na osnovi VDE / V.O. Gabrinets, V.L.Markov, S.O. Mitrohov, V.I. Zarivnyak, L.V. Nakashidze. Vidnovlyuvana energetika #3. – K.: IVE NAN Ukrayini, 2010. – P. 31–34.
4. Zarivnyak G.I. Energoaktivnyie ograzhdeniya v sostave sistem teplosnabzheniya, ispolzuyuschih netraditsionnyie vozobnovlyaemyie istochniki energii / G.I. Zarivnyak, V.A. Gabrinets, L.V. Nakashidze, V.L. Markov, S.A. Mitrohov. Zbirnik naukovih prats „Perspektivni zadachi inzhenernoyi nauki”. – D.: GAUDEAMUS, 2009. – P. 39–44.
5. Fokin V.M. Osnovy energosberezheniya v voprosah teploobmena / V.M. Fokin, G.P. Boykov, Yu.V. Vidin, – M.: «Izdatelstvo Mashinostroenie-1», 2005. 192 p.
6. Nakashidze L.V. Opredelenie usloviy dlya sostavleniya matematicheskoy modeli prognozirovaniya teplotnicheskikh svoystv energoaktivnyih ograzhdeniy, ispolzuyuschih energiyu alternativnyih istochnikov. L.V. Nakashidze. Mezhdunarodnyiy nauchnyiy zhurnal «Alternativnaya energetika i ekologiya». – #15. – 2014. – P. 205–212.

УДК: 621.231

Накашидзе Л.В., Габрінець В.О., Трофіменко А.В.

**ПРОГНОЗУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕТВОРЮВАННЯ СОНЯЧНОГО
ВИПРОМІНЮВАННЯ В ЕНЕРГОАКТИВНИХ ОГОРОДЖЕННЯХ**

Застосування методу респонс-фактору для визначення теплового потоку, який приходить та перетворюється в енергоактивних огородженнях, дозволяє з достатньою точністю спрогнозувати ефективність функціонування інноваційних систем енергозабезпечення. Завдяки використанню енергії сонячного випромінювання та таких систем перетворювання як енергоактивні огородження, можливе зменшення кількості використання традиційних енергоносіїв в 2–3 рази.

Nakashidze L.V., Habrinets V.A., Trofymenko A.V.

**PREDICTION OF THE CONVERSION EFFICIENCY OF SOLAR RADIATION
IN POWER-PROTECTIONS**

Application of respons-factor method for determining the heat flow that comes and turns into a power-fences allows to predict with reasonable accuracy the efficiency of energy innovation systems. Through the use of solar energy and converting systems such as power-protection, there can be reduced the amount of conventional energy use by 2–3 times.

УДК: 681.5

Бобух А.А., Ковалев Д.А., Дзевочко А.М., Климов А.А., Подустов М.А.,
Переверзева А.Н.

ОПТИМАЛЬНЫЙ В КЛАССЕ АДАПТИВНЫХ РЕКУРРЕНТНЫХ ПРОЦЕДУР АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ

Введение

На предприятиях химической промышленности и смежных отраслей с нестационарными и многомерными объектами все больше внимания уделяют вопросам разработки компьютерно-интегрированных систем управления (КИСУ) такими сложными объектами. Одной из основных задач при этом становится разработка достаточно простых и удобных в использовании оптимальных в классе адаптивных рекуррентных процедур алгоритмов управления, подстраивающихся к изменяющимся характеристикам объектов управления и своевременно вырабатывающие корректирующие воздействия.

Цель работы

Разработка оптимального в классе адаптивных рекуррентных процедур алгоритма управления, подстраивающегося к изменяющимся характеристикам объекта управления, позволяющего с высокой точностью и быстродействием отслеживать изменения в нем и своевременно вырабатывающего корректирующие воздействия.

Основная часть

Реализацию предложенного оптимального в классе адаптивных рекуррентных процедур алгоритма управления, подстраивающегося к изменяющимся характеристикам объекта управления и своевременно вырабатывающего корректирующие воздействия, целесообразно выполнять на базе современных микропроцессорных контроллеров (МПК), которые применяются при разработке КИСУ, с многофункциональными специальными программными обеспечениями (СПО). Высокопроизводительные, многоканальные, быстродействующие и высоконадежные МПК в реальном масштабе времени по СПО смогут обеспечивать выполнение всех необходимых функциональных задач разрабатываемого алгоритма управления [1–5].

Рассмотрим процесс разработки предлагаемого алгоритма управления для варианта нестационарного многомерного объекта управления с m -входами и одним выходом [6–9]. На рисунке 1 показан фрагмент упрощенной схемы соединения 17 функциональных блоков предлагаемого алгоритма управления.

С выхода блока сумматора объекта (1) алгоритма входные управляющие воздействия $X_i (i = \overline{1, m})$ поступают на вход блока объекта управления (ОУ) (2) алгоритма, вход α блока модели объекта управления (МОУ) (3) алгоритма, вход α первой группы сдвоенного блока квадратора (12) алгоритма и вход α' первой группы сдвоенного блока умножения (11) алгоритма. Сдвоенные блоки алгоритма соответственно квадратора (12), умножения (11), сумматора (13), деления (14) и масштабных коэффициентов (15) состоят из двух параллельно работающих групп, причем первая группа блоков работает в контуре, решающем задачу идентификации, а вторая группа – в контуре, решающем собственно задачу управления.

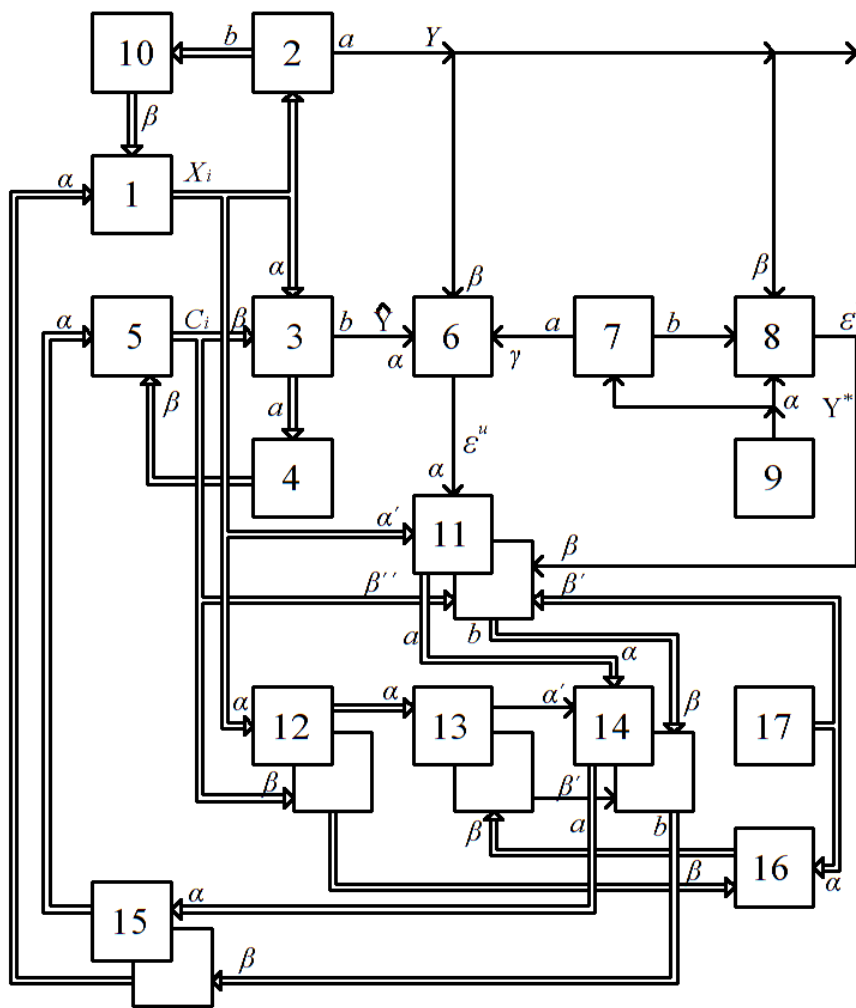


Рисунок 1 – Фрагмент упрощенной схемы соединения функциональных блоков оптимального в классе адаптивных рекуррентных процедур алгоритма управления

Информация об управляющих воздействиях $X_i (i = \overline{1, m})$ с выхода b состояния блока ОУ (2) алгоритма через блок задержки (10) алгоритма с запаздыванием на один такт работы алгоритма подается на вход β блока сумматора объекта (1) алгоритма. С выхода a блока ОУ (2) алгоритма снимается информация об отклике Y на управляющие воздействия X_i и подается на вторые входы β блоков сумматора ошибки идентификации (6) и сумматора ошибки управления (8) алгоритма.

По командам, поступающим с выходов a и b блока управления (7) алгоритма, на вход которого подается сигнал задающего воздействия Y^* с блока задающих воздействий (9) алгоритма, блок сумматора ошибки идентификации (6) вычисляет сигнал рассогласования между откликом блока ОУ (2) алгоритма Y и откликом блока МОУ (3) алгоритма \hat{Y} , поступающим с его выхода b на первый вход α блока сумматора ошибки идентификации (6) $\epsilon^u = Y - \hat{Y}$, а блок сумматора ошибки управления (8), на вход α которого также подается сигнал задающего воздействия Y^* с блока задающих воздействий (9) алгоритма, вычисляет рассогласование между откликом ОУ (2) алгоритма Y и сигналом задающего воздействия Y^* $\epsilon^y = Y^* - Y$.

Информация об ошибках идентификации и управления (ε^u и ε^y) подается на входы α и β первой и второй групп сдвоенного блока умножения (11) алгоритма соответственно.

Информация о последнем значении коэффициентов блока МОУ (3) алгоритма через выход коэффициентов a и блок их задержки (4) алгоритма с задержкой на один такт его работы подается на вход β блока сумматора модели (5) алгоритма, который служит для настройки коэффициентов $C_i (i = \overline{1, m})$ через вход β блока МОУ (3). Информация с выхода сумматора модели (5) алгоритма поступает также на вход β второй группы сдвоенного блока квадратора (12) алгоритма и на третий вход β'' второй группы сдвоенного блока умножения (11) алгоритма.

Элементы векторов управляющих воздействий $X_i (i = \overline{1, m})$ из блока сумматора объекта (1) алгоритма и коэффициентов модели $C_i (i = \overline{1, m})$ из блока сумматора модели (5) алгоритма через входы α и β соответственно подаются в сдвоенный блок квадратора (12) алгоритма, в котором возводятся в квадрат. После этого элементы $X_i^2 (i = \overline{1, m})$ подаются на вход α первой группы сдвоенного блока сумматора (13) алгоритма, а элементы $C_i^2 (i = \overline{1, m})$ подаются на вход β блока умножения (16) алгоритма, где умножаются на величины, обратно пропорциональные стоимости управляющих воздействий d_i , которые поступают на вход α блока умножения (16) от блока задания стоимости управляющих воздействий (17) алгоритма.

С выхода блока умножения (16) алгоритма величины $d_i^{-1} C_i^2$ подаются на вход β второй группы сдвоенного блока сумматора (13) алгоритма. В этом (13) блоке алгоритма вычисляются квадраты евклидовых норм соответствующих векторов $\sum_{i=1}^m X_i^2$ и $\sum_{i=1}^m d_i^{-1} C_i^2$, которые подаются на входы делителя α' и β' сдвоенного блока деления (14) алгоритма соответственно.

На входы делимого α и β этого же (14) блока алгоритма поступает информация с выходов a и b сдвоенного блока умножения (11) алгоритма, у которого первая группа на основании информации, поступающей с выхода блока сумматора ошибки идентификации (6) алгоритма и выхода блока сумматора объекта (1) алгоритма, вычисляет значение $(Y - \hat{Y})X_i$, а вторая группа на основании информации, поступающей с блока сумматора ошибки управления (8) алгоритма, блока задания стоимости управляющих воздействий (17) алгоритма и выхода блока сумматора модели (5) алгоритма, вычисляет значение $(Y^* - Y)D^{-1}C_i$.

Сдвоенный блок деления (14) алгоритма на основании поступающей в него информации вычисляет управляющие воздействия, которые через его выходы a и b , а также входы α и β сдвоенного блока масштабных коэффициентов (15) алгоритма, подаются на входы α блоков сумматоров объекта (1) и модели (5) алгоритма, которые, в свою очередь, вычисляют оптимальные значения управляющих воздействий X_i и коэффициентов C_i МОУ (3).

Рассмотрим пример. Пусть блок ОУ (2) алгоритма описывается уравнением:

$$Y[n] = C_i^{*T} [n]X_i[n], \quad (1)$$

где $Y[n]$ – отклик блока ОУ (2) алгоритма на n -м такте; $X_i[n]$ ($i = \overline{1, m}$) – мерный вектор управляющих воздействий на n -м такте; $C_i^{*T} [n]$ ($i = \overline{1, m}$) – мерный вектор неизвестных коэффициентов ОУ на n -м такте.

Блок МОУ (3) алгоритма задается уравнением:

$$\hat{Y}[n] = C_i^T [n-1]X_i[n], \quad (2)$$

где $\hat{Y}[n]$ – отклик блока МОУ (3) алгоритма на n -м такте; $C_i^T [n-1]$ ($i = \overline{1, m}$) – мерный вектор настраиваемых коэффициентов МОУ (3) на $[n-1]$ -такте.

Необходимо в процессе управления минимизировать отклонение отклика блока алгоритма ОУ (2) Y от задающего воздействия Y^* по критерию минимума суммы квадратов отклонений на каждом такте работы алгоритма. Пусть блок ОУ (2) алгоритма находится в некотором исходном состоянии $X_i[0]$, а в блоке МОУ (3) алгоритма установлены значения коэффициентов $C_i[0]$.

На первом такте работы блок управления (7) алгоритма по выходу b дает команду на блок сумматора ошибки управления (8) алгоритма на вычисление ошибки управления $\varepsilon^y = Y^* - Y[0]$, а по выходу a подается команда на запрещение вычислений на вход γ блока сумматора ошибки идентификации (6) алгоритма. При этом на выходе этого блока (6) алгоритма появляется нуль. А сдвоенные блоки квадратора (12) и сумматора (13) алгоритма, а также блок умножения (16) алгоритма вычисляют величины $\sum_{i=1}^m X_i^2$ и $\sum_{i=1}^m d_i^{-1} C_i^2$, которые подаются на входы делителя α' и β' сдвоенного блока деления (14) алгоритма.

Вычисленные ошибки управления $\varepsilon^y = Y^* - Y[0]$ с выхода блока сумматора ошибки управления (8) алгоритма и нуль с выхода блока сумматора ошибки идентификации (6) алгоритма подаются на входы β и α сдвоенного блока умножения (11) алгоритма, на входы α' , β' и β'' которого подаются значения $X_i[0]$, D^{-1} и $C_i[0]$, где

$$D = \begin{pmatrix} d_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & d_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & d_m \end{pmatrix} \quad (3)$$

матрица стоимости управляющих воздействий. В результате операции умножения на выходе a сдвоенного блока умножения (11) алгоритма появляется нуль, а на выходе b этого же блока (11) появляется вектор $(Y^* - Y[n])D^{-1}C_i[0]$, которые поступают на входы делимого α и β сдвоенного блока деления (14) алгоритма.

В результате операции деления на выходе a сдвоенного блока деления (14)

алгоритма появляется нуль, а на выходе b этого же блока (14) алгоритма появляется вектор:

$$\frac{Y^* - Y[n]}{\sum_{i=1}^m d_i^{-1} C_i^2[n]} D^{-1} C_i[0], \quad (4)$$

который поступает на вход β сдвоенного блока масштабных коэффициентов (15) алгоритма, на вход α которого поступает нуль. В блоке масштабных коэффициентов (15) алгоритма вектор (4) преобразуется в вектор вида:

$$\rho_x \frac{Y^* - Y[n]}{\sum_{i=1}^m d_i^{-1} C_i^2[n]} D^{-1} C_i[0]. \quad (5)$$

Информация из блока масштабных коэффициентов (15) алгоритма поступает на входы α блоков сумматоров объекта (1) и модели (5) алгоритма, в которых выполняются операции суммирования, а на их выходах появляются сигналы:

$$X_i[1] = X_i[0] + \rho_x \frac{Y^* - Y[n]}{\sum_{i=1}^m d_i^{-1} C_i^2[n]} D^{-1} C_i[0] \quad \text{и} \quad C_i[1] = C_i[0] \quad (6)$$

соответственно. Следовательно, на первом такте работы алгоритма происходит уточнение управляющего воздействия при неизменных параметрах МОУ (3) алгоритма.

На втором такте работы блок управления (7) алгоритма выдает команду на вычисление ошибки идентификации в соответствующем блоке (6) алгоритма и запрет на вычисление в блоке сумматора ошибки управления (8) алгоритма, поэтому на его выходе появляется нуль. В результате аналогичных операций в блоке сумматора модели (5) алгоритма вычисляется новый вектор коэффициентов МОУ (3):

$$C_i[2] = C_i[1] + \rho_c \frac{Y[1] - \hat{Y}[1]}{\sum_{i=1}^m X_i^2[1]} X_i[1], \quad (7)$$

а на выходе блока сумматора объекта (1) алгоритма сохраняется управляющее воздействие: $X_i[2] = X_i[1]$.

Таким образом, на n -м и $(n+1)$ -м тактах работы алгоритм вычисляет управляющие воздействия и скорректированные значения коэффициентов МОУ (3) в виде соответственно:

$$X_i[n] = X_i[n-1] + \rho_x \frac{Y^* - Y[n-1]}{\sum_{i=1}^m d_i^{-1} C_i^2[n-1]} D^{-1} C_i[n-1], \quad (8)$$

$$C_i[n+1] = C_i[n] + \rho_C \frac{(Y[n] - \hat{Y}[n])X_i[n]}{\sum_{i=1}^m X_i^2[n]}. \quad (9)$$

Несложно показать, что указанные составляющие (8) и (9) разработанного алгоритма управления являются оптимальными в классе адаптивных рекуррентных процедур, минимизирующих рассогласование $\varepsilon^y = Y^* - Y[n]$ при ограничениях на энергетическую норму $\|\Delta X_i[n]\|^2 = \Delta X_i^T[n]D^{-1}\Delta X_i[n]$.

Вывод

В результате исследований разработан оптимальный в классе адаптивных рекуррентных процедур алгоритм управления, подстраивающейся к изменяющимся характеристикам объектов управления предприятий химической и смежных отраслей, позволяющий с высокой точностью и быстродействием отслеживать изменения в этих объектах и своевременно вырабатывать корректирующие воздействия.

Литература

1. Микропроцессорные системы [Текст] : учеб. пособие для вузов / под ред. Д.В. Пузанкова. – СПб.: Политехника, 2002.– 935 с.
2. Кузин А.В. Микропроцессорная техника [Текст]: учебник / А.В. Кузин, М.А. Жаворонков. – М. : Академия, 2004. – 304 с.
3. Жук В.И. Микропроцессорные контроллеры и системы управления на их основе : опыт построения [Текст] / В. И. Жук. Энергетика и ТЭК. – 2010. – № 01 (82). – С. 41-43.
4. Сиротский А.А. Микропроцессорные программируемые логические контроллеры в системах автоматизации и управления [Текст]: учеб. пособие для вузов / А.А. Сиротский.– М.: Спутник, 2013. 170 с.
5. Бобух А.А. Компьютерно-интегрированная система автоматизации технологических объектов управления централизованным теплоснабжением: монография [Текст] / А.А. Бобух, Д.А. Ковалев; под ред. А.А. Бобуха. – Х.: ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, 2013. – 226 с.
6. Kushner H.J. Stochastic Approximation and Recursive Algorithms and Applications / H.J. Kushner, G.G. Yin. – New-York: Springer-Verlag-New-York-Inc., 2003. – 498 p.
7. Мальцев А.И. Алгоритмы и рекурсивные функции / А.И. Мальцев. – М.: Наука, 1986. – 367 с.
8. А.с. SU 1071996 А, G 05 В 13/00 Адаптивная система управления / И.Д. Зайцев, В.И. Салыга, А.А. Бобух и др. (СССР). № 3506739 / 18–24; заяв. 27.10.82; опубл. 07.02.84, Бюл. № 5.
9. Тюкин И.Ю. Адаптация в нелинейных динамических системах: монография [Текст] / И.Ю. Тюкин, В.А. Терехов. – СПб.: ЛКИ, 2008. – 384 с.

Bibliography (transliterated)

1. Mikroprotsessornyie sistemyi [Tekst] : ucheb. posobie dlya vuzov. pod red. D.V. Puzankova. – SPb.: Politehnika, 2002.– 935 p.

2. Kuzin A.V. Mikroprotsessornaya tehnika [Tekst]: uchebnik. A.V. Kuzin, M.A. Zhavoronkov. – M. : Akademiya, 2004. – 304 p.
3. Zhuk V.I. Mikroprotsessornyye kontrollery i sistemy upravleniya na ih osnove: opyt postroeniya [Tekst] V.I. Zhuk. Energetika i TEK. – 2010. – # 01 (82). – P. 41–43.
4. Sirotskiy A.A. Mikroprotsessornyye programmiruemye logicheskie kontrollery v sistemah avtomatizatsii i upravleniya [Tekst]: ucheb. posobie dlya vuzov. A.A. Sirotskiy.– M.: Sputnik, 2013. 170 p.
5. Bobuh A.A. Kompyuterno-integrirovannaya sistema avtomatizatsii tehnologicheskikh ob'ektov upravleniya tsentralizovannyim teplosnabzheniem: monografiya [Tekst]. A.A. Bobuh, D.A. Kovalev; pod red. A.A. Bobuha. – H.: HNUGH im. A.N. Beketova, 2013. – 226 p.
6. Kushner H.J. Stochastic Approximation and Recursive Algorithms and Applications. H.J. Kushner, G.G. Yin. – New-York: Springer-Verlag-New-York-Inc., 2003. – 498 p.
7. Maltsev A.I. Algoritmy i rekursivnyie funktsii. A.I. Maltsev. – M.: Nauka, 1986. – 367 p.
8. A.s. SU 1071996 A, G 05 B 13/00 Adaptivnaya sistema upravleniya. I.D. Zaytsev, V.I. Salyiga, A.A. Bobuh i dr. (SSSR). # 3506739. 18–24; zayav. 27.10.82; opubl. 07.02.84, Byul. # 5.
9. Tyukin I.Yu. Adaptatsiya v nelineynyih dinamicheskikh sistemah: monografiya [Tekst]. I.Yu. Tyukin, V.A. Terehov. – SPb.: LKI, 2008. – 384 p.

УДК: 681.5

Бобух А.О., Ковальов Д.О., Дзевочко О.М., Клімов А.О., Подустов М.О.,
Переверзева А.М.

ОПТИМАЛЬНИЙ В КЛАСІ АДАПТИВНИХ РЕКУРЕНТНИХ ПРОЦЕДУР АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ

У статті розроблено оптимальний в класі адаптивних рекурентних процедур алгоритм керування, який підлаштовується до змін характеристик об'єктів керування підприємств хімічної і суміжних галузей, та дозволяє з високою точністю і швидкістю відстежувати зміни в цих об'єктах і своєчасно виробляти коригуючі впливи.

Bobukh A.A., Kovalyov D.A., Dzevochko A.M., Klimov A.O., Podustov M.A.,
Pereverzieva A.N.

OPTIMAL IN CLASS OF ADAPTIVE RECURRENT PROCEDURES CONTROL ALGORITHM

In the article the optimal is worked out in the class of adaptive recurrent procedures control algorithm, tuned to changing descriptions of objects of control of enterprises of chemical and contiguous industries, allowing with high exactness and fast-acting to watch changes in these objects and in good time produce correcting influences.

Ковтонюк И.Б.¹, Шаблій Г.Ф.², Волосников С.А.³

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС
ПОДВИЖНОЙ ПЛАТФОРМЫ**

¹ХУПС им. И. Кожедуба, ²ГП Укргідрографія, ³ГП ХКБМ им. А.А. Морозова

Существует большое количество задач, связанных с движением транспортных объектов – судов, колесных и гусеничных машин, летательных аппаратов – типа “подвижная платформа – силовая установка”, когда необходимо определить траекторию движения в определенных условиях внешней среды и управляющих воздействиях [1,2,3].

Такая задача формулируется следующим образом [3].

Рассмотрим подвижную платформу некоторой традиционной конструкции, допускающую управление ее положением при движении по плоской поверхности за счет целенаправленно формируемой силы f_1 , создаваемой движителем, и силы f_2 , создающей момент вращения M , разворачивающий платформу вокруг вертикальной оси (рис. 1).

Будем считать, что положение органа управления подачи топлива U_1 и положение штурвала U_2 пропорциональны f_1 и f_2 соответственно. Пусть сила ϑ_1 – сила сопротивления движению платформы, связанная с внешней средой, а ϑ_2 – сила сопротивления повороту.

На плоскости движение рассматривается в прямоугольной системе координат Oxy . В этой системе координат заданы координаты точки $O_1(x_{01}; y_{01})$. Пусть также рекомендована траектория движения, по которой платформа должна пройти через отметку в виде (рис. 1)

$$k_1x + k_2y = b. \tag{1}$$

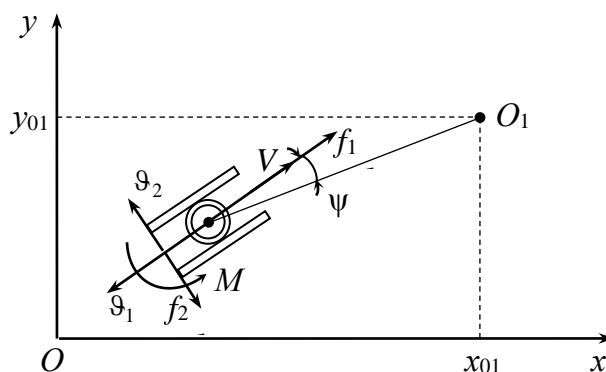


Рисунок 1 – Система координат и схема сил, действующих на платформу

Тогда система дифференциальных уравнений, описывающих движение подвижной платформы на плоскости xOy , представляется в виде

$$\frac{dx}{dt} = V_x = V \cos \psi ; \quad (2)$$

$$\frac{dy}{dt} = V_y = V \sin \psi , \quad (3)$$

где V – скорость платформы, а ψ – курс платформы.

$$\frac{dV_x}{dt} = k_{11}u_1 - k_{12}V - k_{13}V^2 + b_{12}\vartheta_1 \sin \psi ; \quad (4)$$

$$\frac{dV_y}{dt} = k_{21}Vu_2 + b_{21}\vartheta_2 \cos \psi ; \quad (5)$$

$$u_1 = (+1; 0) ; \quad u_2 = (+1; -1) , \quad (6)$$

где $u_1 = 1$ соответствует максимальной скорости движения (задний ход не рассматривается); $u_2 = 1$ – максимально правое положение штурвала; $u_2 = -1$ – максимально левое.

Система дифференциальных уравнений (2)–(6), описывающая движение подвижной платформы на плоскости, не может быть решена до тех пор, пока не будут определены коэффициенты в уравнениях (4) и (5) (k_{11} , k_{12} , k_{13} , k_{21} , b_{12} , b_{21} , ϑ_1 , ϑ_2), которые, в свою очередь, как правило, не числовые константы, а функции некоторых переменных, зависящих от времени. Определение этих коэффициентов представляется отдельной, весьма сложной задачей, требующей довольно большого объема экспериментальных исследований. Это обусловлено тем, что на различных средах (водная, грунт) будут наблюдаться различные условия движения, обусловленные сопротивлением движению, повороту, различными для штурвала и манипуляторов законами управляющих воздействий, и, наконец, приспособляемостью двигателя или силовой установки для наземных платформ. Все это в конечном итоге приводит к тому, что уравнения, составляющие нестационарную систему (2)–(6), становятся еще и нелинейными по времени (t). Это существенно усложняет решение такой системы. В конечном итоге, если неизвестные коэффициенты и будут определены, то такая система может быть решена численными методами с обязательным определением условия сходимости решения, то есть, определения обеспечивающего его шага по времени. Здесь следует особо подчеркнуть тот факт, что, получая каждый раз частное решение, полученное численным методом, трудно выявить закономерности влияния различных факторов на моделируемый процесс. Чтобы выявить такое влияние хотя бы по одному фактору, необходимо, зафиксировав значения остальных переменных, варьировать значением этого фактора и, таким образом, “набирать” статистику. После этого, проанализировав ее, переходить к следующему фактору и так далее, пока все они не будут перебраны. Однако, эта весьма трудоемкая процедура не гарантирует выявление достоверных или близких к ним закономерностей влияния различных

факторов, поскольку, во-первых, требует перебора вариантов условий, во-вторых, в виду пространственного и временного шагов, может пропускать характерные точки функции, описывающей искомую закономерность.

Этих недостатков лишен аналитический метод решения дифференциальных уравнений. Основным его преимуществом является то, что полученное в аналитическом виде решение позволяет проводить параметрические исследования. Кроме этого, аналитическое решение не требует доказательства его сходимости и устойчивости. Тем не менее, основным недостатком аналитического метода решения является то, что не все дифференциальные уравнения могут быть решены этим методом. Так, далеко не каждое дифференциальное уравнение даже первой степени можно свести к виду, допускающему разделение переменных. Задача еще более усложняется, если степень уравнения достаточно высока.

Поэтому первым шагом к получению аналитического решения является корректная постановка задачи. Для этого исходную постановку задачи (2)–(6) сведем к следующей (рис. 1).

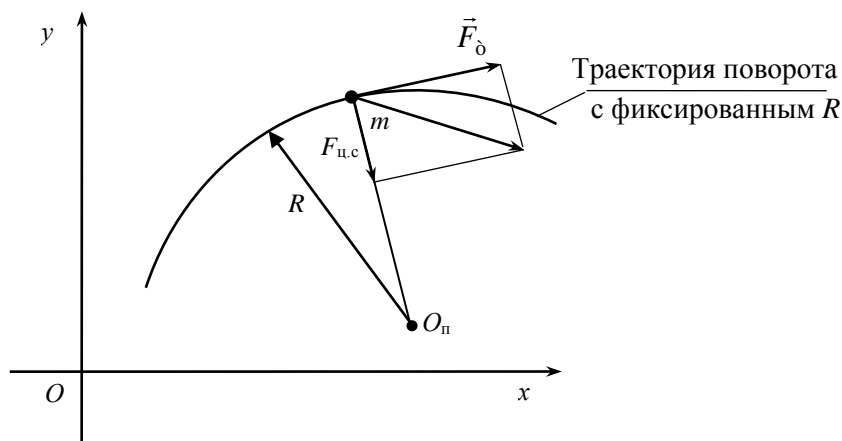


Рисунок 2

Тело массой m движется со скоростью V под воздействием силы тяги F_T и совокупности сил, вызывающих радиальное движение (управляющее воздействие, ветер, волнение, течение, сопротивление повороту, центробежная сила), которые сведены к фиктивной центростремительной силе

$$F_{ц.с} = m \cdot a_{ц.с},$$

где $a_{ц.с}$ – центростремительное ускорение. Здесь следует подчеркнуть, что $a_{ц.с}$ может быть как положительной по знаку, так и отрицательной. Положительное значение $a_{ц.с}$ соответствует направлению вектора $\vec{F}_{ц.с}$ к центру поворота – точке $O_п$ (рис. 2) и движению поворота. Отрицательное значение $a_{ц.с}$ соответствует направлению вектора $\vec{F}_{ц.с}$ от центра к периферии и движению платформы в состоянии “занос”, когда радиус движения превосходит радиус поворота R под воздействием центробежной силы, превышающей силы сопротивления. Эти характеристики для каждого типа (серии) подвижных платформ определяются экспериментально, система дифференциальных уравнений, которую предстоит решить, имеет вид:

$$m \frac{d}{dt} V_x(t) = -\alpha \cdot V_x(t); \quad (7)$$

$$m \frac{d}{dt} V_y(t) = -m a_{ц.с} - \alpha \cdot V_y(t), \quad (8)$$

где m – масса платформы, V_x, V_y – составляющие проекции скорости на оси Ox и Oy соответственно, α – коэффициент пропорциональности.

Запишем уравнение (7) в виде

$$m \frac{d}{dt} V_x(t) + \alpha V_x(t) = 0 \quad (9)$$

и произведем преобразование Лапласа, в результате чего получим [4]

$$m(S \cdot L(V_x(t), S) - V_x(0)) + \alpha L(V_x(t), S). \quad (10)$$

В этих уравнениях символом L обозначено преобразование Лапласа (наиболее распространенное обозначение, иногда обозначают *Lap* или *Laplas*).

Произведем замену: $L(V_x(t), S)$ на $V1(S)$ – это Лаплас-образ искомой функции, и $V_x(0)$ на $V0_x$ – проекция начальной скорости на горизонтальную ось.

В результате решения алгебраического уравнения

$$m(S \cdot V1(S) - V0_x) + \alpha V1(S) = 0 \quad (11)$$

находим Лаплас-образ искомой функции

$$m \frac{V0_x}{mS + \alpha}. \quad (12)$$

В результате обратного преобразования Лапласа находим функцию – оригинал

$$V0_x \cdot e^{(-t) \frac{\alpha}{m}}. \quad (13)$$

Таким образом, составляющая скорости на ось Ox как функция времени с учетом функции – оригинала (13) запишется в виде

$$V_x(t) = V0_x \cdot \exp(-\alpha \frac{t}{m}). \quad (14)$$

Аналогичным образом проводятся преобразования и для второго уравнения системы (8), которое перепишем в виде

$$m \frac{d}{dt} V_y(t) + \alpha V_y(t) + m \cdot a_{ц.с} = 0. \quad (15)$$

После преобразования Лапласа и замены $L(V_y(t), S)$ на $V_2(S)$ – Лаплас-образ искомой функции и $V_y(0)$ на $V0_y$ – проекция начальной скорости на ось Oy , получим алгебраическое уравнение

$$m(S \cdot V_2 - V0_y) + \alpha V_2 + m \frac{a_{ц.с}}{S} = 0. \quad (16)$$

В результате решения алгебраического уравнения (16) находим Лаплас-образ искомой функции:

$$m \frac{V0_y \cdot S - a_{ц.с}}{S(mS + \alpha)}. \quad (17)$$

После обратного преобразования Лапласа находим функцию-оригинал в виде:

$$m \left(\frac{-1}{\alpha} a_{ц.с} + \frac{e^{\frac{(-t)\alpha}{m}}}{m} V0_y + \frac{1}{\alpha} e^{\frac{(-t)\alpha}{m}} a_{ц.с} \right). \quad (18)$$

Выражение (18) определяет составляющую скорости на ось Oy как функцию времени в виде

$$V_y(t) = m \left(\frac{-1}{\alpha} a_{ц.с} + \frac{V0_y}{m} \exp\left(-\alpha \frac{t}{m}\right) + \frac{a_{ц.с}}{\alpha} \exp\left(-\alpha \frac{t}{m}\right) \right). \quad (19)$$

Полученные выражения для составляющих скорости на оси координат как функции времени (14) и (19) позволяют определить и зависимости координат от времени на основе известных выражений

$$x(t) = \int_0^t V_x(t) dt, \quad (20)$$

$$y(t) = \int_0^t V_y(t) dt. \quad (21)$$

После интегрирования этих выражений с соответствующей подстановкой вместо $V_x(t)$ и $V_y(t)$ функций, определяемых выражениями (14) и (19), получим аналитические выражения горизонтальной и вертикальной координат от времени

$$y(t) = \frac{-1}{\alpha} m \cdot e^{-\frac{t}{m}} \cdot V_{0x} + \frac{1}{\alpha} m \cdot V_{0x}; \quad (22)$$

$$y(t) = -m \frac{a_{ц.с} \cdot t \cdot \alpha \cdot e^{\frac{t}{m}} + \alpha V_{0y} + m \cdot a_{ц.с} \cdot e^{-\frac{t}{m}}}{\alpha^2} + \frac{\alpha V_{0y} + m \cdot a_{ц.с}}{\alpha^2} m. \quad (23)$$

Таким образом, выражения (14) и (19) определяют составляющие скорости движущейся платформы, а (22) и (23) – координаты ее центра масс как функции времени, что позволяет определить (построить) траекторию движения.

В заключение решения модельной задачи отметим, что хотя исходная постановка задачи формулировалась как система уравнений, решение осуществлялось последовательно для каждого из двух уравнений. Такая постановка и последующее решение возможны в тех случаях, когда проекции на координатные оси сил, действующих на тело, зависят только от проекций соответствующих скоростей, что не всегда удается обусловить.

Несмотря на то, что аналитические решения математических задач не требуют доказательств, полученное решение должно быть физическим, то есть не противоречить физическим представлениям о процессе, который описывается. Для этого решается тестовая задача, такая, для которой решение известно при определенных заданных условиях. Поэтому прежде чем перейти к исследованию полученных решений (14), (19) и (22), (23) решается тестовая задача.

В качестве тестовой задачи рассмотрим случай, когда $a_{ц.с} = 0$, $\alpha = 1$. Такие условия соответствуют отсутствию управляющих воздействий, вызывающих поворот платформы. Это означает, что нет факторов, приводящих к искривлению траектории, то есть платформа движется прямолинейно. Подстановка этих условий в выражения для координат от времени (22) и (23) дает следующее:

$$x(t) = -m e^{-\frac{t}{m}} V_{0x} + m V_{0x} = m V_{0x} - m e^{-\frac{t}{m}} V_{0x} = m V_{0x} \left(1 - e^{-\frac{t}{m}} \right); \quad (24)$$

$$y(t) = -m \frac{V_{0y}}{\alpha^2} e^{-\frac{t}{m}} + m \frac{\alpha V_{0y}}{\alpha^2} = m \frac{V_{0y}}{\alpha} - m \frac{\alpha V_{0y}}{\alpha^2} e^{-\frac{t}{m}} = m V_{0y} \left(1 - e^{-\frac{t}{m}} \right). \quad (25)$$

Как видно из (24) и (25) траекторией движения платформы для заданных условий является прямая линия.

Таким образом, на основе результатов тестовой задачи можно заключить, что модель отражает физические представления о процессе.

Литература

1. Ковтонюк И.Б. Потребное управление летательным аппаратом с учетом отклонения траектории полета от заданной / О.Б. Анипко, И.Б. Ковтонюк // Інтегровані

технології та енергозбереження. – Харків : Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, 2009. – №3. – С. 58–63.

2. Шаблій Г.Ф. Обеспечение экологической безопасности от потенциально опасных судов с использованием системы мониторинга судоходства / Г.Ф. Шаблій, О.Б. Анипко // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків : Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, 2015. – №1. – С. 92–95.

3. Зараковский Г.М. Закономерности функционирования эргатических систем / Г.М. Зараковский, В.В. Павлов. – М.: Радио и связь, 1986. – 232 с.

4. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров : пер. с англ. / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1978. – 832 с.

Bibliography (transliterated)

1. Kovtonyuk I.B. Potrebnoe upravlenie letatelnyim apparatom s uchetom otkloneniya traektorii poleta ot zadannoy. O.B. Anipko, I.B. Kovtonyuk. Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – Harkiv: Natsionalniy tehnicnyi universitet “Harkivskiy poitehnicnyi institut”, 2009. – #3. – P. 58–63.

2. Shabliy G.F. Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti ot potentsialno opasnyih sudov s ispolzovaniem sistemyi monitoringa sudohodstva. G.F. Shabliy, O.B. Anipko. Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – Harkiv : Natsionalniy tehnicnyi universitet “Harkivskiy politehnicnyi institut”, 2015. – #1. – P. 92–95.

3. Zarakovskiy G.M. Zakonomernosti funktsionirovaniya ergaticheskikh sistem / G.M. Zarakovskiy, V.V. Pavlov. – M.: Radio i svyaz, 1986. – 232 p.

4. Korn G. Spravochnik po matematike dlya nauchnyih rabotnikov i inzhenerov : per. s angl. / G. Korn, T. Korn. – M. : Nauka, 1978. – 832 p.

УДК 621.45.02.024:05.054

Ковтонюк І.Б., Шаблій Г.Ф., Волосников С.А.

**АНАЛІТИЧНЕ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ
РУХУ ЦЕНТРА МАС РУХОМОЇ ПЛАТФОРМИ**

Наведено аналітичне рішення задачі математичного моделювання руху центра мас рухомої платформи, яке може бути використане при визначенні траєкторії руху транспортних об'єктів типу “рухома платформа – силова установка”.

Kovtonyuk I.B., Shabliy G.F., Volosnykov S.A.

**ANALYTICAL SOLUTION OF MATHEMATICAL MODELING OF THE CENTER
OF MASS MOVING PLATFORM**

The analytical solution of mathematical modeling of the center of mass moving platform that can be used in determining the trajectory of transport objects such as "mobile platform – power plant."

УДК 621.316.727

Поднебенная С.К.

МЕТОДИКА ВЫБОРА МОЩНОСТИ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Введение. Внедрение современных стандартов качества электроэнергии обуславливает повышенный интерес к проблеме снижения уровня высших гармоник в сети, компенсации реактивной мощности и несимметрии. Возможности силовой электроники и преобразовательной техники позволяют для решения этой проблемы в сетях низкого и среднего напряжения использовать активные фильтрокомпенсирующие устройства (АФКУ): активные устройства компенсации реактивной мощности (СТАТ-СОМы) и фильтрации высших гармоник (силовые активные фильтры – САФ).

Подавляющее большинство АФКУ поперечной компенсации (рис. 1) строятся на основе двух- или многоуровневого автономного инвертора напряжения (АИН), подключаемого к сети через интерфейсный фильтр (ИФ) (рис. 2) [1].

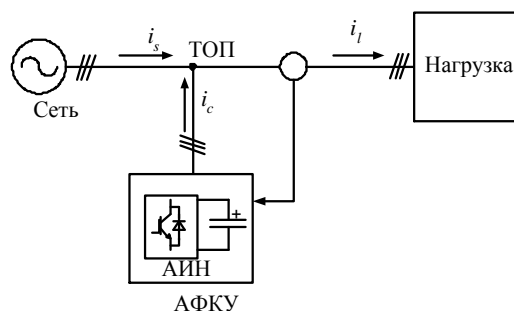


Рисунок 1 – Типовая структурная схема подключения АФКУ поперечной компенсации

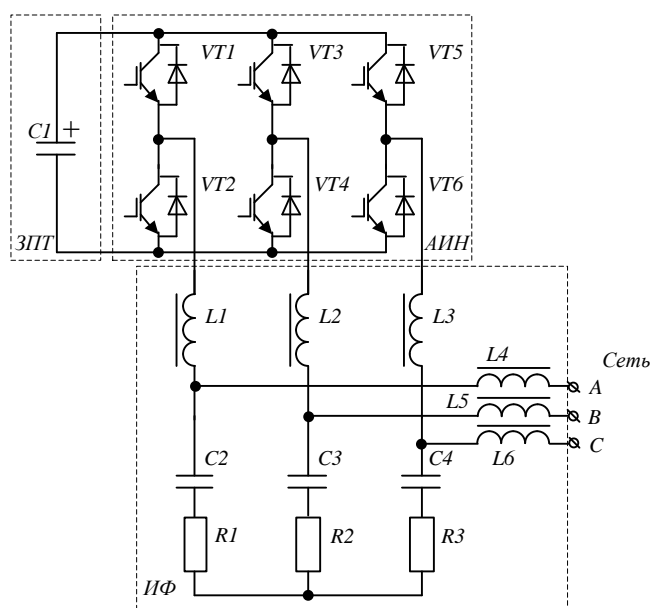


Рисунок 2 – Силовая часть АФКУ поперечной компенсации

ИФ в простейшем случае может представлять собой одиночную индуктивность (в каждой фазе), но на практике зачастую используются более сложные LCL-фильтры, иногда демпфированные (L1L2L3C2C3C4R1R2R3L4L5L6 на рис. 2). ИФ представляет собой фильтр нижних частот и в идеальном случае должен иметь близкий к нулю коэффициент передачи на частотах модуляционных составляющих выходного напряжения АИН (при ШИМ управлении это частота несущей ШИМ и ее гармоник), а в рабочей полосе АФКУ должен быть «прозрачным» [1].

Одним из важных вопросов, решаемых при выборе типа АФКУ, является экономическое обоснование. Стоимость АФКУ определяется его мощностью, поэтому задача правильного ее выбора стоит достаточно остро.

Стандарт IEEE 1459-2010 [2] дает определение для показателей электрической энергии и мощности, используемых в приборах контроля и учета, поэтому для расчета мощности АФКУ целесообразно использовать именно эти определения. Главным отличием определения IEEE [3] от других определений (по С. Budeanu [4]; по S. Fryze [5]; по N. L. Kusters и W. J. M. Moore [6]; по W. Shepherd и P. Zakikhani [7]; по D. Sharon [8]; по L. S. Czarnecki [9, 10]) является выделение активной P_1 и реактивной Q_1 составляющих полной мощности на основной частоте, которые составляют т.н. «фундаментальную» полную мощность.

Если выделить первую гармонику из среднеквадратичных значений напряжения и тока:

$$U^2 = U_1^2 + U_H^2 = U_1^2 + \sum_{h \neq 1} U_h^2; \quad (1)$$

$$I^2 = I_1^2 + I_H^2 = I_1^2 + \sum_{h \neq 1} I_h^2, \quad (2)$$

где U_1 – среднеквадратичное напряжение на основной частоте сети (первой гармонике), В; $U_H = \sqrt{\sum_{h \neq 1} U_h^2}$ – сумма среднеквадратичных напряжений на частотах, не равных основной частоте (высших гармоник), В; I_1 – среднеквадратичный ток на основной частоте сети (первой гармонике), А; $I_H = \sqrt{\sum_{h \neq 1} I_h^2}$ – сумма среднеквадратичных токов на частотах, не равных основной частоте (высших гармоник), А;

то квадрат полной мощности можно записать в таком виде:

$$S^2 = (UI)^2 = (U_1 I_1)^2 + (U_H I_1)^2 + (U_1 I_H)^2 + (U_H I_H)^2. \quad (3)$$

При этом первое слагаемое – «фундаментальная» полная мощность – равна:

$$S_1^2 = (U_1 I_1)^2 = P_1^2 + Q_1^2 = (U_1 I_1 \cos \phi_1)^2 + (U_1 I_1 \sin \phi_1)^2. \quad (4)$$

Остальные три слагаемые полной мощности составляют, т.н. «нефундаментальную» полную мощность, или мощность искажений:

$$S_N^2 = (U_H I_1)^2 + (U_1 I_H)^2 + (U_H I_H)^2 = S^2 - S_1^2, \quad (5)$$

состоящую из трех слагаемых: мощности искажений тока $D_I = U_1 I_H$, мощности искажений напряжения $D_U = U_H I_1$, и мощности гармонических искажений (полной мощности гармоник) $D_H = U_H I_H$.

В стандарте [2] вводятся понятия неактивной мощности N , равной:

$$N = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{Q_1^2 + N_H^2}, \quad (6)$$

где N_H – неактивная мощность, переносимая высшими гармониками [3], ВАр;

и полной мощности гармоник D_H :

$$D_H^2 = (U_H I_H)^2 = P_H^2 + N_H^2, \quad (7)$$

где P_H – активная мощность, переносимая высшими гармониками, Вт.

Коэффициент мощности, в соответствии со стандартом IEEE 1459-2010 [2] определяется как:

$$PF = P/S. \quad (8)$$

Полная компенсация мощности искажений не всегда является экономически обоснованной, поэтому с учетом определений стандарта [2] и требований к параметрам качества электроэнергии в точке общего присоединения (ТОП), необходимо составить методику, позволяющую определить расчетную мощность АФКУ, что и является **целью данной статьи**.

Для предварительного выбора мощности АФКУ требуется знать [11]:

- активную мощность нагрузки (на первой гармонике), P_l , Вт;
- исходный коэффициент мощности (КМ) нагрузки, PF ;
- желаемый КМ системы «АФКУ + нагрузка», PF_d ;
- коэффициент несинусоидальности тока нагрузки THD_l .

Полная мощность нагрузки S_l в соответствии с (8), (3) может быть найдена как:

$$S_l = \frac{P_l}{PF} = \sqrt{S_1^2 + S_N^2}. \quad (9)$$

При этом, мощность искажений может быть найдена из следующего выражения:

$$S_N^2 = N^2 - Q_1^2, \quad (10)$$

где N – неактивная мощность нагрузки, ВАр, Q_1 – реактивная мощность нагрузки на первой гармонике, ВАр.

При компенсации КМ до PF_d выражение (10) можно записать с учетом некоторых остаточных искажений:

$$S'_l = \frac{P_l}{PF_d}; \quad (11)$$

$$S'_l = \sqrt{P_l^2 + (S_N - S_C)^2}, \quad (12)$$

где S'_l – полная мощность системы «компенсатор + нагрузка», ВА, S_C – мощность компенсатора, ВА.

Выразим величину неактивной мощности нагрузки:

$$N = \sqrt{S_l^2 - P_l^2} = \sqrt{\left(\frac{P_l}{PF}\right)^2 - P_l^2} = P_l \cdot \sqrt{\frac{1}{PF^2} - 1}. \quad (13)$$

Выражение для нахождения относительной мощности АФКУ получено при подстановке полученного выражения в (11) с учетом (13):

$$\frac{S_C}{P_l} = \sqrt{\frac{1}{PF^2} - 1} - \sqrt{\frac{1}{PF_d^2} - 1}. \quad (14)$$

На рис. 3 приведено семейство зависимостей относительной мощности АФКУ от активной мощности нагрузки для разных желаемых КМ системы «АФКУ + нагрузка» [10].

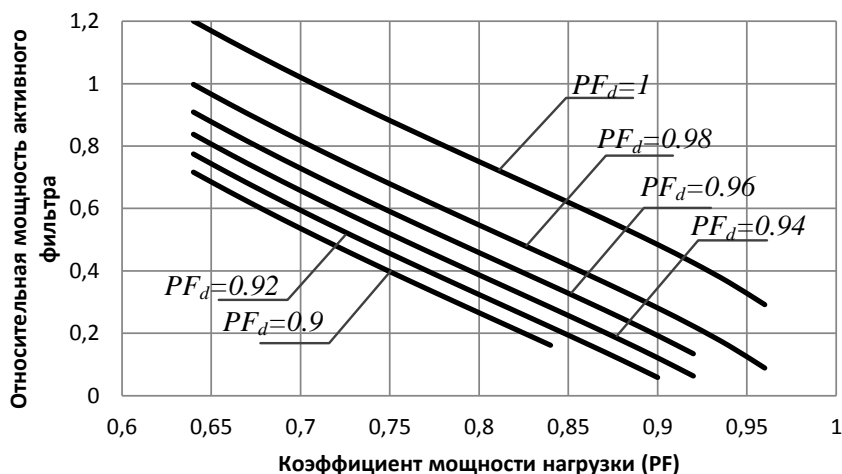


Рисунок 3 – Семейство зависимостей относительной мощности АФКУ от исходного КМ нагрузки

Из полученных зависимостей видно, что при коэффициенте мощности нагрузки, не превышающем 0,7, требуемая мощность АФКУ для достижения единичного КМ системы «АФКУ + нагрузка», должна превышать мощность нагрузки. Таким образом,

економічною цілесобразним рішенням може okazaтися неповна компенсація вищих гармоник і реактивної потужності, або установка гібридної системи (АФКУ + пасивні фільтри).

При необхідності компенсації тільки вищих гармоник тока (без компенсації реактивної потужності), потужність АФКУ може вибиратися з урахуванням коефіцієнта несинусоїдальності (THD_I) тока навантаження:

$$S_C = S_N = \frac{P_I}{PF} \cdot \frac{THD_I}{\sqrt{1+THD_I^2}}. \quad (15)$$

При необхідності компенсації тільки реактивної потужності, потужність АФКУ може бути вибрана в відповідності з вираженням:

$$S_C = Q_I = \frac{P_I}{PF} \sqrt{1-PF^2 \cdot (1+THD_I^2)}. \quad (16)$$

При неможливості проведення вимірювань і аналізу споживаного тока нелінійної навантаження приблизний вибір потужності АФ можна виконати по типовим характеристикам. Так, для нелінійної навантаження, що складається з електроприводів постійного і/або змінного тока, в відповідності з [12] рекомендується два методи приблизного визначення потужності АФ.

В першому випадку необхідно знати:

- потужності приводів постійного (P_{DC}) і змінного (P_{AC}) тока відповідно, Вт;
- THD живлячого напруги THD_U ;
- THD живлячого напруги після установки САФ THD_{U_F} .

Потужність АФКУ можна приблизно визначити як [12]

$$S_C \approx (0,26P_{DC} + 0,318P_{AC}) \cdot k, \quad (17)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від вихідного і бажаного THD живлячого напруги, вибирається в відповідності з діаграмою, наведеною на рис. 4.

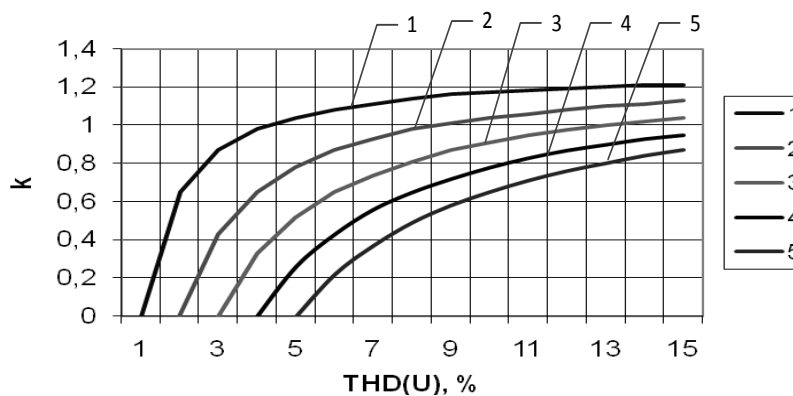


Рисунок 4 – Діаграма для вибору коефіцієнта k , криві 1–5 відповідають THD живлячого напруги після установки АФКУ, $THD(U_F), \%$, при вихідному THD живлячого напруги $THD(U), \%$ по осі ординат

Во втором случае набор исходных данных следующий:

- THD тока нелинейной нагрузки THD_I ;
- желаемый THD сетевого тока после установки АФКУ $THD_{I,d}$;
- полная мощность нагрузки S_I , ВА (исключая мощность батарей конденсаторов, если таковые имеются).

При этом мощность АФ может быть приближенно выбрана по выражению [12]

$$S_C \approx 1,3 \frac{THD_I - THD_{I,d}}{\sqrt{1 + THD_I^2}} \cdot S_I. \quad (18)$$

На основании приведенных зависимостей и выражений, составлена методика вычисления мощности АФ, представленная в виде алгоритма (рис. 5).

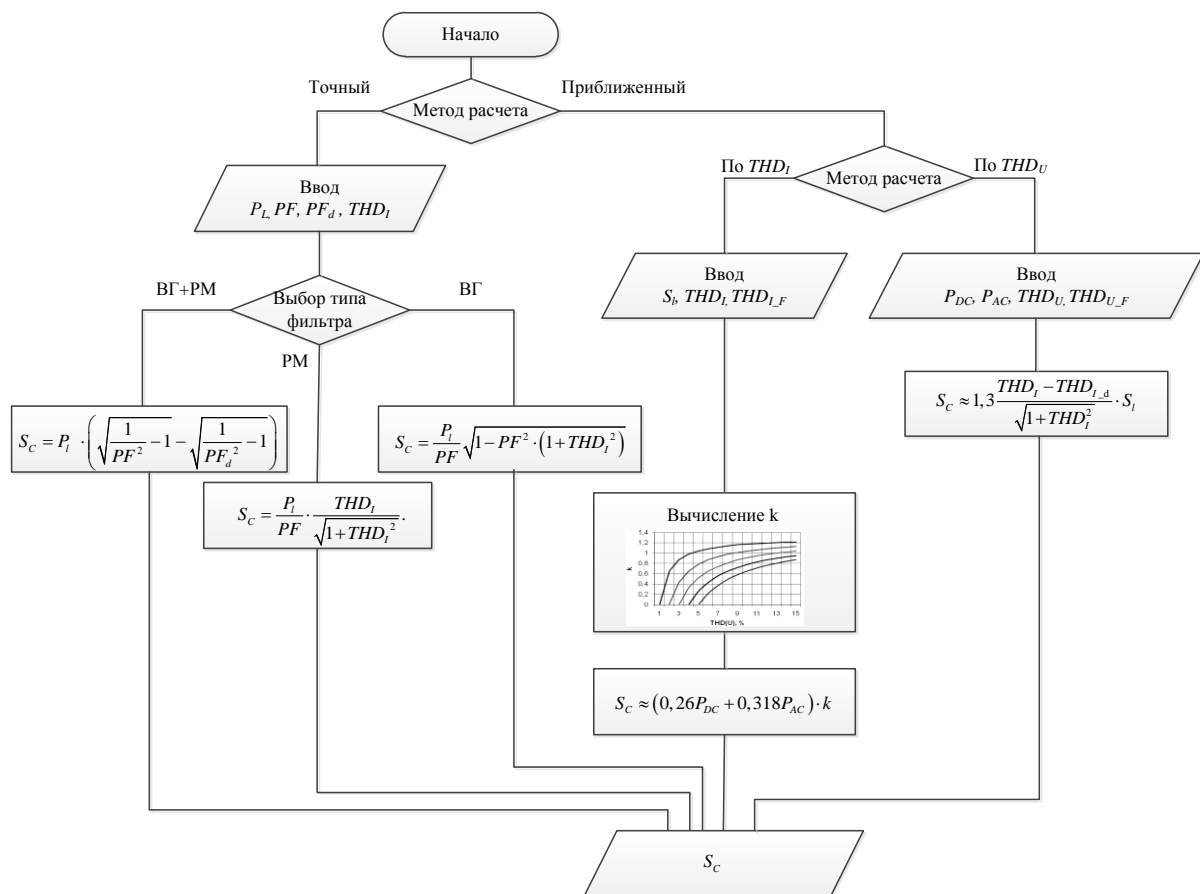


Рисунок 5 – Алгоритм нахождения мощности АФ

Вышеперечисленные методы выбора мощности АФКУ не учитывают спектральный состав тока компенсируемых нелинейных нагрузок. Между тем, физические основы работы АФКУ требуют введения специфических ограничений, описанных ниже.

Для уточненного выбора параметров АФКУ требуется выполнение следующих условий:

$$I_{C_rms} \geq I_{D_rms}; \quad (19)$$

$$I_{C_m} \geq I_{D_m}; \quad (20)$$

$$\frac{dI_{C_rms}}{dt} \geq \frac{dI_{D_max}}{dt}, \quad (21)$$

где I_{C_rms} – среднеквадратичный выходной ток АФКУ, А; I_{C_m} – амплитуда выходного тока АФКУ, А; I_{D_rms} – среднеквадратичный ток нагрузки с отфильтрованной основной гармоникой, А; I_{D_m} – амплитуда тока нагрузки с отфильтрованной основной гармоникой, А.

Приведенные выше условия обусловлены следующими требованиями:

- амплитуда выходного тока АФКУ не должна быть больше тока насыщения дросселей интерфейсного фильтра и не больше допустимого тока силовых ключей АИН;

- среднеквадратичный ток АФКУ определяет тепловой режим его работы;

- от максимальной скорости изменения выходного тока АФКУ зависят параметры интерфейсного фильтра, в частности, индуктивности входящих в его состав дросселей. Так, возможны ситуации, когда АФ не сможет развить требуемый выходной ток гармоник высоких порядков, что приведет к недокомпенсации мощности искажений даже при достаточной установленной мощности АФ.

Выполнение последних условий необходимо для оптимизации силовой части АФКУ с целью снижения его себестоимости и уменьшения потерь мощности в нем.

Выводы

1. Разработанная методика для расчета мощности АФКУ, использующая определения стандарта IEEE Standard 1459-2010, позволяет рассчитать требуемую мощность АФКУ с учетом требований к параметрам качества электроэнергии в точке общего присоединения.

2. При невозможности проведения измерений и анализа потребляемого тока нелинейной нагрузки приближенный выбор мощности АФ можно выполнить по типовым характеристикам.

3. Следует учитывать динамические свойства (характеристики) АФ при его выборе.

Литература

1. Бурлака В.В. Современные способы улучшения качества электроэнергии / В.В. Бурлака, С.К. Поднебенная, С.В. Гулаков // Управление качеством электрической энергии: Сборник трудов Международной научно-практической конференции. Москва, 26–28 ноября 2014 г. – М.: ООО «Центр полиграфических услуг “Радуга”», 2014. – С. 137–143.

2. IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions, IEEE Standard 1459–2010, New York, 2010.

3. Arseneau R. Practical definitions for powers in systems with nonsinusoidal waveforms and unbalanced loads: a discussion / R. Arseneau, Y. Baghzouz, J. Belanger, K. Bowes,

- A. Braun, A. Chiaravallo, M. Cox, S. Crampton, A. Emanuel, P. Filipski, E. Gunther, A. Girgis, D. Hartmann, S.-D. He, G. Hensley, D. Iwanusiw, W. Kortebein, T. McComb, A. McEachern, T. Nelson, N. Oldham, D. Piehl, K. Srinivasan, R. Stevens, T. Unruh, and D. Williams // *IEEE Transactions on Power Delivery*. – 1996. – Vol. 11, No. 1. – pp. 79–101.
4. Budeanu C. Reactive and fictitious powers / C. Budeanu // *Rumanian National Institute*. – 1927. – No. 2.
5. Fryze S. Wirk- Blind- und Scheinleistung in elektrischen Stromkreisen mit nichtsinusförmigem Verlauf von Strom und Spannung / S. Fryze // *Elektrotechnische Zeitschrift*. – 1932. – No. 25. – pp. 596–99, 625–627, 700–702.
6. Kusters N.L. On the definition of reactive power under nonsinusoidal conditions / N. L. Kusters, W. J. M. Moore // *IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems*. – 1980. – Vol. PAS-99. – No. 5. – pp. 1845–1854.
7. Shepherd W. Suggested definition of reactive power for nonsinusoidal systems / W. Shepherd, P. Zakikhani // *PROC. IEE*. – 1972. – Vol. 119. – No. 9. – pp. 1361–1362.
8. Sharon D. Reactive power definition and power factor improvement in non-linear systems / D. Sharon // *Proc IEE*. – 1973. – Vol 120. – No 6. – pp. 704–706.
9. Czarnecki L.S. Considerations on the reactive power in nonsinusoidal situations / L. S. Czarnecki // *IEEE Trans. on Inst. and Meas.* – 1985. – Vol. 34. – No. 3. – pp. 399–404.
10. Czarnecki L.S. What is wrong with the Budeanu concept of reactive and distortion power and why it should be abandoned / L.S. Czarnecki // *IEEE Trans. on Inst. and Meas.* – 1987. – Vol. 36. – No. 3. – pp. 834–837.
11. Поднебенная С.К. К вопросу выбора мощности параллельного активного фильтра / С.К. Поднебенная, В.В. Бурлака // *Научно-практическая конференция молодых ученых и студентов «Наукові дослідження молоді – інновації в науці та практиці»*. – Мариуполь: ПГТУ, 2013. – С. 15–16.
12. Power Quality Filter. Active Filtering Guide. Режим доступа:
[http://library.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/0f61159109c44f58c1256f2e00445c57/\\$File/2GCS401012A0070.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/0f61159109c44f58c1256f2e00445c57/$File/2GCS401012A0070.pdf)

Bibliography (transliterated)

1. Burlaka V.V. Sovremennyye sposoby uluchsheniya kachestva elektroenergii. V.V. Burlaka, S.K. Podnebenная, S.V. Gulakov. Upravleniye kachestvom elektricheskoy energii: Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Moskva, 26–28 noyabrya 2014 g. – M.: «Zentr poligraficheskikh uslug "Raduga"», 2014. – P. 137–143.
2. IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions, IEEE Standard 1459–2010, New York, 2010.
3. Arseneau R. Practical definitions for powers in systems with nonsinusoidal waveforms and unbalanced loads: a discussion. R. Arseneau, Y. Baghzouz, J. Belanger, K. Bowes, A. Braun, A. Chiaravallo, M. Cox, S. Crampton, A. Emanuel, P. Filipski, E. Gunther, A. Girgis, D. Hartmann, S.-D. He, G. Hensley, D. Iwanusiw, W. Kortebein, T. McComb, A. McEachern, T. Nelson, N. Oldham, D. Piehl, K. Srinivasan, R. Stevens, T. Unruh, and D. Williams. *IEEE Transactions on Power Delivery*. – 1996. – Vol. 11, No. 1. – pp. 79–101.
4. Budeanu C. Reactive and fictitious powers. C. Budeanu. *Rumanian National Institute*. – 1927. – No. 2.

5. Fryze S. Wirk- Blind- und Scheinleistung in elektrischen Stromkreisen mit nichtsinusförmigem Verlauf von Strom und Spannung. S. Fryze. Elektrotechnische Zeitschrift. – 1932. – No. 25. – pp. 596–99, 625–627, 700–702.
6. Kusters N.L. On the definition of reactive power under nonsinusoidal conditions. N. L. Kusters, W. J. M. Moore. IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems. – 1980. – Vol. PAS-99. – No. 5. – pp. 1845–1854.
7. Shepherd W. Suggested definition of reactive power for nonsinusoidal systems. W. Shepherd, P. Zakikhani. PROC. IEE. – 1972. – Vol. 119. – No. 9. – pp. 1361–1362.
8. Sharon D. Reactive power definition and power factor improvement in non-linear systems. D. Sharon. Proc IEE. – 1973. – Vol 120. – No 6. – pp. 704–706.
9. Czarnecki L.S. Considerations on the reactive power in nonsinusoidal situations. L. S. Czarnecki. IEEE Trans. on Inst. and Meas. – 1985. – Vol. 34. – No. 3. – pp. 399–404.
10. Czarnecki L.S. What is wrong with the Budeanu concept of reactive and distortion power and why it should be abandoned. L.S. Czarnecki. IEEE Trans. on Inst. and Meas. – 1987. – Vol. 36. – No. 3. – pp. 834–837.
11. Podnebennaya S.K. K voprosu vybora moshchnosti parallel'nogo aktivnogo fil'tra. S.K. Podnebennaya, V.V. Burlaka. Nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchenykh i studentov «Naukoví doslídzhennya molodí – ínnovatsíi v nauksí ta praktitsíi». – Mariupol' : PGTU , 2013. – S. 15–16.
12. Power Quality Filter. Active Filtering Guide. Access mode: [http://library.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/0f61159109c44f58c1256f2e00445c57/\\$File/2GCS401012A0070.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/0f61159109c44f58c1256f2e00445c57/$File/2GCS401012A0070.pdf).

УДК 621.316.727

Поднебенна С.К.

МЕТОДИКА ВИБОРУ ПОТУЖНОСТІ АКТИВНИХ ФІЛЬТРОКОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

Одним з важливих питань, що вирішуються при виборі типу активних фільтрокомпенсуючих пристроїв (АФКП), є економічне обґрунтування. Вартість АФКП визначається його потужністю, тому задача правильного її вибору стоїть досить гостро. Повна компенсація потужності спотворень не завжди є економічно обґрунтованою, тому з урахуванням визначень стандарту IEEE 1459–2010 і вимог до параметрів якості електроенергії в точці загального приєднання складено методіку, що дозволяє визначити розрахункову потужність АФКП. Для врахування спектрального складу струму нелінійних навантажень потребується введення специфічних обмежень, які дозволяють знизити собівартість АФКП та зменшити втрати потужності в ньому.

Podnebennaya S.K.

METHOD OF SELECTION OF ACTIVE FILTER'S POWER

One of the important issues which can be solved when choosing the type of active filter-compensating devices (AFCD) is an economic justification. The cost of AFCD is determined by its power rating, so the task of choosing the right AFCD power is quite acute. Full compensation of mains current distortion is not always economically feasible, so, considering the IEEE 1459–2010 standard definitions and requirements for power quality parameters in the point of common coupling, a method of determining the estimated power rating of AFCD

is proposed. For taking into account the spectral composition of nonlinear load current, additional specific limitations are required, which allows to optimize the AFCD cost and reduce active power losses in it.

Бутенко А.Н., Лобойко А.Я., Привалова Г.С.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОКИСЛЕНИЯ АММИАКА ДО ОКСИДА АЗОТА (II) НА МЕТАЛЛОКСИДНЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ

Процесс каталитического окисления аммиака до оксида азота (II) всесторонне исследуется на протяжении уже длительного времени. Многими авторами проведены испытания многочисленных образцов катализаторов различного состава и структур.

На современном этапе развития производства азотной кислоты наибольшее применение в промышленности в качестве катализаторов окислительной конверсии аммиака до оксида азота (II) получили два вида каталитических систем: так называемые платиноидные сетки, представляющие собой сплавы платины с палладием, родием и рутением, а также двухступенчатые катализаторы, состоящие из одной платиноидной сетки и слоя неплатинового катализатора.

В Украине в основном используют платиновые сплавы №1 и №5, состав которых приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав платиноидных катализаторов

Сплав	Pt	Pd	Rh	Ru
№1	92,5	4,0	3,5	–
№5	81,0	15,0	3,5	0,5

Комбинированные, т.е. двухступенчатые катализаторы применяют под атмосферным давлением, однако это позволяет обеспечить не только общий выход оксида азота (II), соответствующий выходу при эксплуатации трех платиноидных сеток, но и сократить единовременные затраты в производстве азотной кислоты примерно в три раза, а также уменьшить удельные потери платины в процессе на 10–15 % [1].

В связи с постоянно возрастающим дефицитом платиноидных металлов особый интерес для современных исследований представляют поиски более дешевых металлооксидных контактных масс с целью возможности отказа от использования платиноидов. Однако в связи с тем, что проблема замены дорогостоящих платиноидных контактов оксидными все еще не решена можно прийти к выводу, что одной из весомых причин этого является отсутствие должного внимания к теоретическому обоснованию подбора состава последних.

Результаты проведенных различными учеными и экспериментаторами исследований [2–4] не дают возможности расположить оксиды металлических элементов в ряд последовательного возрастания их активности и селективности в данном процессе. Это, очевидно, связано с тем, что основное внимание исследователи уделяют различным методам приготовления и испытания катализаторов, а не их природе.

При окислении аммиака до оксида азота (II) более высокие значения активности и селективности могут быть достигнуты на оксидах, у которых металлический элемент

находиться в проміжній ступені окислення або в процесі експлуатації переходить в неї. Наприклад, на оксиді кобальта (II, III) максимальний вихід при 700 °С і 0,10132 МПа становить 96 % [5], в той час як на оксиді кобальта (II) при тих же умовах – 76,6 % [6]. На наш погляд, це явище обумовлено поочередним окисленням і відновленням оксидів металічних елементів на поверхні гранули каталізатора, стійких при температурах проведення досліджуваного процесу.

Максимальний вихід оксиду азоту (II) в даному процесі згідно з даними досліджень авторами [7], може бути досягнуто з використанням оксидів перехідних металічних елементів IV періоду, особливо оксиду кобальта (II, III), заліза (III), хрому (III).

Залежність виходу оксиду азоту (II) від температури для цих оксидів, отримана в ході досліджень [8], наведена на малюнку. З цією метою в реактор завантажували оксидні контакти у вигляді таблеток. Висота шару каталізатора становила 40–50 мм, витрата амміачно-повітряної суміші 350–400 дм³/ч з об'ємною часткою амміака 7–10,5 %. Результати експериментів показали, що для всіх залежностей існує оптимальне значення температури, при якому вихід цільового продукту приймає максимальне значення. Слід зауважити також, що оптимальна температура конверсії амміака в оксид азоту (II) змінюється в широкому інтервалі температур для різних складів металічних каталізаторів: від 650 °С для оксиду кобальта (II, III) до 850 °С для оксиду хрому (III).

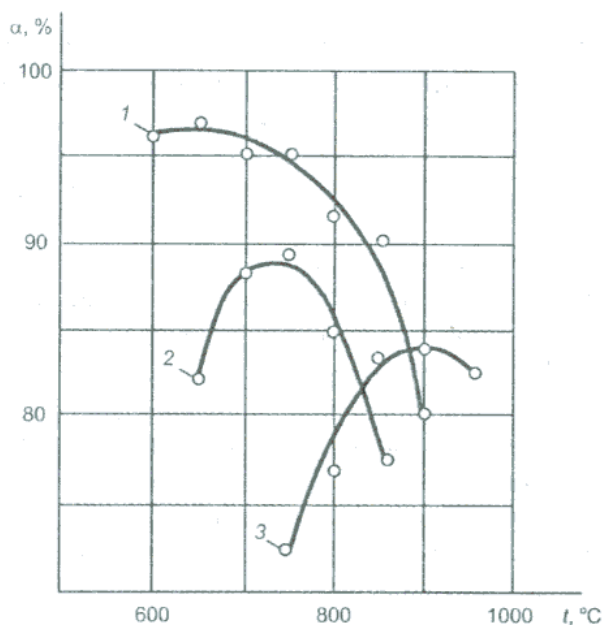
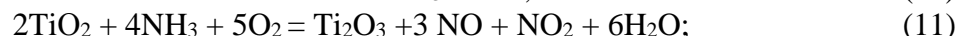
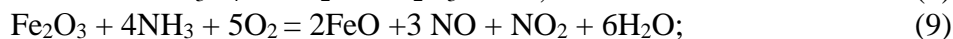
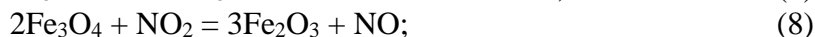
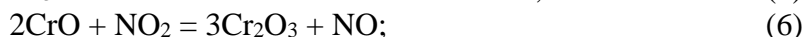
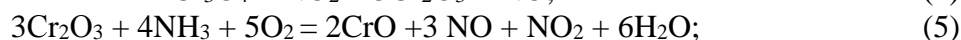
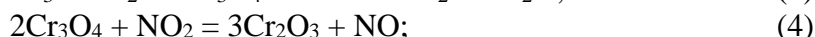


Рисунок – Залежність виходу оксиду азоту (II) від температури: 1 – Co₃O₄; 2 – Fe₂O₃; 3 – Cr₂O₃

Поскольку современная теория катализа при характеристике каталитических свойств того или иного контакта связывает активность с числом электронов на внешнем энергетическом уровне, но не связывает ее с окисленной или восстановленной формами данного катализатора, то на наш взгляд возникает необходимость учитывать термодинамическую возможность взаимного перехода металлического элемента из окисленной формы в восстановленную и обратно в процессе протекания каталитического процесса. Для теоретического обоснования подбора каталитически активных оксидных систем была взята во внимание энергия Гиббса не только как показатель термодинамической вероятности, но и как следствие возможности протекания процесса, т.е. определенных окислительно-восстановительных реакций, имеющих место в ходе проведения окислительной конверсии аммиака до оксида азота (II), так как именно в таком случае проявляется природная сущность каталитической активности исследуемых оксидных систем. Для подтверждения указанного выше проводили расчеты термодинамических функций состояния системы, связанных с протеканием реакций, связанных с обратимым переходом одного окислительного состояния металлического элемента в другое. Уравнения последних приведены ниже:



В табл. 2 приведена зависимость максимального выхода оксида азота (II) от значений термодинамических функций состояния системы в ходе реакции окисления аммиака до оксида азота (II) на оксидах различных металлических элементов при оптимальной для конкретного состава катализатора с одной стороны и используемой в промышленности с другой температуре.

Зависимость оптимальной температуры проведения процесса $T_{\text{опт}}$ от температуры плавления оксидов металлических элементов согласно [8] выражается следующим соотношением:

$$T_{\text{опт}} = k_1 \cdot T_{\text{пл}}, \quad (13)$$

где $T_{\text{пл}}$ – температура плавления оксида металлического элемента, К; k_1 – эмпирический коэффициент, который составляет 0,42–0,50.

Данное уравнение справедливо для оксидов хрома (III), железа (III) и оксида титана (IV).

Оксид же кобальта (II, III) не плавится, а подвергается разложению. Максимальное значение выхода оксида азота достигается при температуре, которая находится в следующей зависимости от температуры разложения [8]:

$$T_{\text{опт}} = k_2 \cdot T_{\text{разл}}, \quad (14)$$

где $T_{\text{разл}}$ – температура разложения оксида металлического оксида, К; k_2 – эмпирический коэффициент, который варьируется в пределах 0,72–0,80 и составляет для оксида кобальта (II, III) 0,784.

Значения стандартных энтальпий и энтропий образования веществ взяты из [9], а энергия Гиббса соответствующих реакций рассчитана с помощью уравнения второго приближения [10] для оптимальной температуры и температуры проведения процесса при атмосферном давлении в промышленности, а именно 1073 К. Значения максимального выхода оксида азота (II) при оптимальной температуре проведения процесса взяты на основании данных [11].

Анализ полученных результатов свидетельствуют также и о термодинамической возможности протекания процесса окисления аммиака до оксида азота (II) на приведенных оксидных катализаторах за исключением оксида титана (IV). Причем максимальный выход оксида азота (II) соответствует минимальному значению энергии Гиббса для процессов, протекающих на указанных выше оксидных системах.

Термодинамически наиболее вероятна реакция (1) с использованием оксида кобальта (II, III). Реакция (2) термодинамически возможна, однако значение энергии Гиббса достаточно высокое, что, очевидно, можно объяснить значительную потерю активности кобальт оксидного катализатора во времени (всего 4 месяца эксплуатации), а значит и его низкую термостабильность при температуре выше оптимальной.

Реакции (3–10) на оксидах хрома (III) и железа (III) до оксидов с более низкой степенью окисления также термодинамически возможны. Различия в экспериментально полученных значениях выхода оксида азота (II) можно объяснить тем, что оксид хрома (III) может переходить как в оксид хрома (II), так и в оксид хрома (II, III). Следовательно, в данном процессе может идти одновременно как минимум две параллельные реакции с образованием смеси оксидов в различном соотношении в зависимости от условий протекания процесса. Аналогичная ситуация наблюдается и для оксида железа (III).

Таблица 2 – Зависимость максимального выхода оксида азота (II) от значений термодинамических функций состояния системы в ходе реакции окисления аммиака на оксидах различных металлических элементов

Катализатор	Реакция	$T_{\text{пл}} (T_{\text{разл}}), \text{ К}$	$T_{\text{опт}}, \text{ К}$	Значения термодинамических функций				Максимальный выход NO при $T_{\text{опт}}, \%$
				$\Delta S_{298}^0, \text{ Дж/К}$	$\Delta H_{298}^0, \text{ кДж}$	$\Delta G_T^0, \text{ кДж}$	$\Delta G_{1073}^0, \text{ кДж}$	
Co_3O_4	(1)	1178	923	-475,36	-1053,25	-754,03	-745,94	96,5

	(2)			-58,22	-112,93	-38,39	-20,66	
Cr ₂ O ₃	(3)	2613	1123	-446,67	-695,57	-382,39	-378,12	84,0
	(4)			-86,91	-470,61	-381,41	-377,50	
	(5)			-463,33	-752,69	-421,06	-415,89	
	(6)			-70,25	-413,49	-342,74	-339,73	
Fe ₂ O ₃	(7)	1473	1023	-474,13	-991,03	-656,75	-650,69	89,0
	(8)			-59,45	-175,15	-115,89	-113,10	
	(9)			-931,09	-470,01	-604,10	-598,62	
	(10)			-63,57	-764,56	-698,00	-694,65	
TiO ₂	(11)	2143	973	-608,86	873,75	1392,59	1434,56	2,0
	(12)			75,28	-2039,93	-2174,86	-2198,36	

Значения энергии Гиббса для реакций (4, 6, 8, 10) свидетельствуют о том, что возможность протекания обратного процесса с образованием активного оксида металлического элемента для железа и хрома относительно значения для реакции (2) значительно выше. Подтверждением этого является промышленное использование катализаторов на основе оксидов хрома (III) и железа (III), которые в отличие от оксида кобальта (II, III), показывают стабильную работу в течение регламентированного срока службы в качестве второй ступени, хотя выход оксида азота (II) при их применении ниже.

Согласно экспериментальным данным оксид титана (IV) практически не проявляет каталитических свойств в данном процессе, что подтверждается и теоретически, т.е. путем расчета энергии Гиббса, которая свидетельствует о термодинамической невозможности протекания реакции (11).

Значения энергии Гиббса, рассчитанной для оптимальной температуры проведения процесса окисления аммиака до оксида азота (II), ниже, чем для температуры, применяемой в промышленности, что свидетельствует о более высокой термодинамической вероятности протекания процесса в первом случае. Однако стоит отметить, что согласно рассчитанным данным существует принципиальная возможность протекания процесса в производственных условиях, то есть промышленное использование таких металлооксидных катализаторов.

Полученные данные свидетельствуют о целесообразности обоснования методики подбора, а, следовательно, и использования катализаторов конкретного состава на основании результатов, полученных в ходе теоретических исследований и расчетов. Анализ экспериментальных данных и рассчитанных термодинамических функций состояния системы подтверждает существование определенной обратной зависимости между выходом оксида азота (II) и значениями энергии Гиббса.

Использование оксида кобальта (II, III) в качестве катализатора данного процесса является наиболее перспективным, однако при условиях промышленной эксплуатации такой контакт будет подвергаться относительно быстрой дезактивации за счет процесса спекания, т.е. сокращения числа активных центров, и не проявит максимальной активности. Для использования кобальтоксидного катализатора в производственных условиях очевидно необходимо повышение его термостабильности. Возможными вариантами решения указанной проблемы является нанесение активной каталитической массы на носитель, а также введением в ее состав добавок, способствующих повышению термостабильности.

На основании расчета термодинамических параметров протекания процесса на металлооксидных катализаторах можно констатировать, что окислительно-восстановительный процесс, связанный с переходом оксидного катализатора из окисленной формы в восстановленную характеризует величину его каталитической активности в исследуемом процессе. В то же время термодинамические параметры обратного процесса, т.е. процесса перехода каталитической системы из восстановленной в окисленную, отражают длительность эксплуатации.

Литература

1. Янковский Н.А. Производство слабой азотной кислоты / Н.А. Янковский, И.М. Демиденко. – Горловка: ОАО «Концерн Стирол», 2006. – 138 с.
2. V.A. Sadykov et al. / Oxide catalysts for ammonia oxidation in nitric acid production: properties and perspectives / V.A. Sadykov, L.A. Isupova, I.A. Zolotarskii, L.N. Bobrova, A.S. Noskov, V.N. Parmon, E.A. Brushtein, T.V. Telyatnikova, V.I. Chernyshev, V.V. Lunin // Applied Catalysis A: General. – 2000.– №204. – p. 59–87.
3. Termain I.E., Perer R. – Bull. Soc. Chim. France, 1972, №5, p. 2042–2047.
4. Biordano N., Cabbatera E., Lema D. – Chim. et ind., 1963, v. 15, №1, p.44–45.
5. Морозов Н.М., Лукьянова М.Н., Темкин М.И. – Кинетика и катализ. – 1966.– вып. 1.– с. 172–175.
6. Атрощенко В.И. Технология азотной кислоты / В.И. Атрощенко, С.И. Каргин. – М.: Химия, 1970. – 496 с.
7. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л. Каталізатори в технології неорганічних речовин: монографія / Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, О.Я. Лобойко, А.М. Бутенко, Г.І. Гринь, І.О. Слабун; ред. : Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, О.Я. Лобойко; Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т".– Х.: Підручник НТУ "ХПІ", 2013.– 219 с. – укр.
8. Бутенко А.Н. Подбор и исследование неплатиновых катализаторов окисления аммиака до окиси азота / А.Н. Бутенко : Автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук.– Харьков, 1976.– 20 с.
9. Лидин Р.А. Химические свойства неорганических веществ / Р.А. Лидин, В.А. Молочко. – 5-е изд. – М. : Колос, 2006. – 480 с.
10. Лидин Р.А. Справочник по неорганической химии. Константы неорганических веществ / Р.А. Лидин, В.А. Молочко, Л.Л. Андреева. – М. : Химия, 1987. – 320 с.
11. Караваев М.М. Каталитическое окисление аммиака / Караваев М.М., Засорин А.П., Клещев Н.Ф. – М. : Химия.– 1983.– 232 с.

Bibliography (transliterated)

1. Yankovskiy N.A. Proizvodstvo slaboy azotnoy kisloty. N.A. Yankovskiy, I.M. Demidenko. – Gorlovka: ОАО «Kontsern Stirol», 2006. – 138 p.
2. V.A. Sadykov et al. Oxide catalysts for ammonia oxidation in nitric acid production: properties and perspectives. V.A. Sadykov, L.A. Isupova, I.A. Zolotarskii, L.N. Bobrova, A.S. Noskov, V.N. Parmon, E.A. Brushtein, T.V. Telyatnikova, V.I. Chernyshev, V.V. Lunin. Applied Catalysis A: General. – 2000.– #204. – p. 59–87.
3. Termain I.E., Perer R. – Bull. Soc. Chim. France, 1972, #5, p. 2042–2047.

4. Biordano N., Cabbatera E., Lema D. – *Chim. et ind.*, 1963, v. 15, #1, p.44–45.
5. Morozov N.M., Lukyanova M.N., Temkin M.I. – *Kinetika i kataliz.* – 1966.– вип. 1.– p. 172–175.
6. Atroschenko V.I. *Tehnologiya azotnoy kisloty.* V.I. Atroschenko, S.I. Kargin. – М.: Himiya, 1970. – 496 p.
7. Tovazhnyanskiy L.L. *Katalizatori v tehnologiyi neorganichnih rechovin: monografiya.* L.L. Tovazhnyanskiy, O.Ya. Loboyko, A.M. Butenko, G.I. Grin, I.O. Slabun; red. : L.L. Tovazhnyanskiy, O.Ya. Loboyko; *Nats. tehn. un-t "Hark. polItehn. In-t".*– H.: Pidruchnik NTU "HPI", 2013.– 219 p. – ukr.
8. Butenko A.N. *Podbor i issledovanie neplatinovyih katalizatorov okisleniya ammiaka do okisi azota.* A.N. Butenko : Avtoref. dis. na soiskanie nauchn. stepeni kand. tehn. nauk.– Harkov, 1976.– 20 p.
9. Lidin R.A. *Himicheskie svoystva neorganicheskikh veschestv.* R.A. Lidin, V.A. Molochko. – 5-e izd. – М. : Kolos, 2006. – 480 p.
10. Lidin R.A. *Spravochnik po neorganicheskoy himii. Konstantyi neorganicheskikh veschestv.* R.A. Lidin, V.A. Molochko, L.L. Andreeva. – М. : Himiya, 1987. – 320 p.
11. Karavaev M.M. *Kataliticheskoe okislenie ammiaka.* Karavaev M.M., Zasorin A.P., Kleshev N.F. – М. : Himiya.– 1983.– 232 p.

УДК 661.556

Бутенко А.М., Лобойко О.Я., Привалова Г.С.

ТЕРМОДИНАМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОКИСЛЕННЯ АМІАКУ ДО ОКСИДУ АЗОТУ (II) НА МЕТАЛООКСИДНИХ КАТАЛІЗАТОРАХ

У статті розглянуто існуючі каталізаторні системи, що використовують на вітчизняних підприємствах. Підкреслено необхідність теоретичного обґрунтування підбору металооксидних каталізаторів окисної конверсії амоніаку до нітроген (II) оксиду. Приведені результати розрахунків термодинамічних функцій стану системи за використанням таких контактів. Підтверджена наявність залежності між енергією Гіббса та вихідом цільового продукту.

Butenko A.N., Loboyko O.Ja., Pryvalova G.S.

THERMODYNAMIC FEATURES OF OXIDATION OF AMMONIA IN NITRIC OXIDE (II) ON METAL OXIDE CATALYST

In paper reviews the existing catalyst systems used in domestic enterprises. The necessity of theoretical justification of the selection of metal oxide catalysts for the oxidative conversion of ammonia to nitrogen (II) oxide is emphasizes. The results of calculations of the thermodynamic functions of the system state using these contacts are presented. The presence of relationship between Gibbs energy and yield of the product is confirmed.

УДК 62-758.34/36:621.438:621.1.016.4.001.57:519.6

Костюк В.Е., Кирилаш Е.И.

ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ КОРПУСА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Введение. На блочно-комплектных компрессорных станциях газовой и нефтяной промышленности широко применяются турбокомпрессорные агрегаты (ТКА) с конвертированными авиационными или судовыми газотурбинными двигателями (ГТД) в качестве привода, входящими в состав силовых блоков (БС). БС объединяет заключенные в укрытии, часто выполненном в виде шумотеплоизолирующего кожуха, ГТД и газоотводное устройство с системами обеспечения работы ГТД, системой вентиляции укрытия и охлаждения находящегося в нём оборудования и другими вспомогательными системами. С развитием методов вычислительной аэрогидродинамики (CFD – Computational Fluid Dynamics) стало возможным оценить тепловое состояние (ТС) оборудования БС моделированием физических процессов в формулировке краевых задач. Удачный выбор расчётной области и задание адекватных граничных условий (ГУ) при моделировании ТС оборудования БС ТКА является нетривиальной проблемой, от способа решения которой зависит точность численного решения.

В общем случае укрытие можно рассматривать как систему, включающую следующие энергетически связанные тела: ограждающие конструкции; атмосферный воздух; оборудование (в том числе ГТД), находящееся внутри укрытия; вентиляционный воздух, омывающий оборудование и ограждающие конструкции; цикловый воздух и (или) выхлопные газы, протекающие внутри ГТД и газоотводного устройства; воздух системы внутреннего охлаждения горячих узлов ГТД). Краевую задачу о ТС такой системы можно формулировать как сопряжённую на поверхностях раздела фаз «газ – твёрдое тело». Такой подход является наиболее полным, но по ряду причин трудно реализуем. Авторы работ [1-4] упростили постановку задачи, полностью или частично исключив из рассмотрения наиболее сложный элемент системы – ГТД. Так в работах [1–3] участки границы расчётной области совпадают с наружной, а в работе [4] – с внутренней поверхностью корпуса ГТД. На указанных участках границы в работах [1] и [2] задавались термические ГУ 1-го (температура) и 2-го рода (тепловой поток) соответственно, а в работах [3, 4] – термические ГУ 3-го рода (вынужденной конвекции). Поскольку перечисленные условия зависят от распределения температуры вентиляционного воздуха, которое в данной постановке задачи является искомым, а также от режима работы двигателя, их практическое использование возможно только в сочетании с некоторой тепловой моделью корпуса ГТД. Очевидно, при использовании ГУ 1-го и 2-го рода такая модель может быть только эмпирической. Применение ГУ 3-го рода в сочетании с допущением о независимости условий в проточной части ГТД от условий в укрытии открывает возможность разработки модели, включающей термодинамическую модель ГТД и модель теплопроводности его корпуса, идентифицируемую по результатам эксперимента. Облучённость некоторых участков корпуса ГТД, расположенными внутри проточной части ГТД горячими деталями (например, жаровой трубой (ЖТ)) может быть учтена постановкой комбинированных радиационно-конвективных ГУ.

Цель настоящего исследования – разработать расчётно-экспериментальную тепловую модель корпуса ГТД как основного источника тепловыделения в

пространство укрытия, пригодную для оценки ТС оборудования БС ТКА методами CFD.

Разработка тепловой модели корпуса ГТД

Корпус ГТД был условно разделён на тридцать три участка, соответствующих характерным элементам проточной части ГТД, укрупнённо показанных на рис. 1. Корпусы компрессора низкого давления (КНД) и силовой турбины (ТС) были разделены повенцово, кроме того, начиная с компрессора высокого давления (КВД), участки разбивались на части, имеющие кусочно-постоянную толщину в соответствии с толщинами корпуса ГТД.

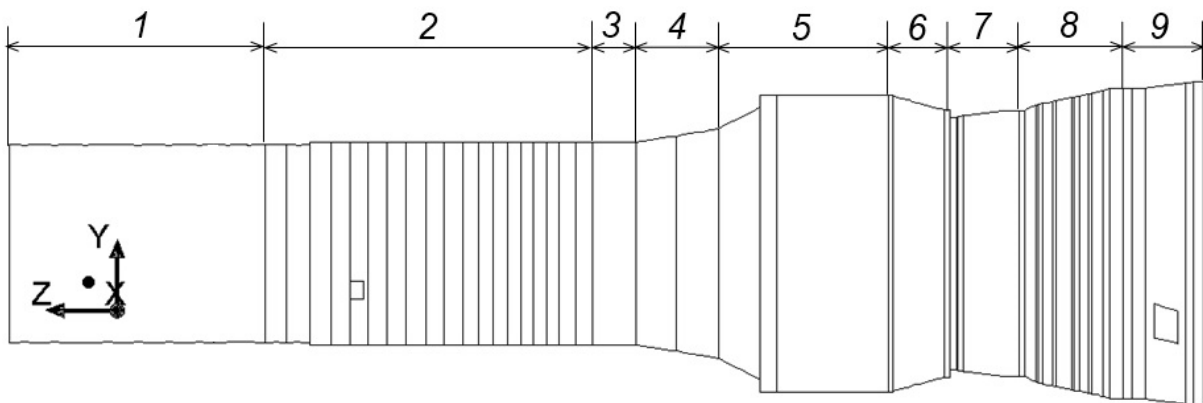


Рисунок 1 – Характерные участки корпуса ГТД: 1 – проставка; 2 – корпус КНД; 3 – переходник; 4 – корпус силовой КВД; 5 – кожух камеры сгорания (КС); 6 – корпус силовой турбины высокого давления (ТВД) и турбины низкого давления (ТНД); 7 – опорный венец (ОВ) ТНД; 8 – корпус ТС; 9 – ОВ ТС

В поперечных сечениях проточной части ГТД, относящихся к характерным элементам, с помощью термодинамической модели ГТД рассчитывались средние температуры и скорости рабочего тела. Используя данные параметры и линейные размеры элементов проточной части ГТД, по критериальным уравнениям [5] рассчитывались коэффициенты теплоотдачи к внутренней поверхности корпуса ГТД от омывающего её рабочего тела: от воздуха к поверхностям межлопаточных каналов направляющих аппаратов КНД и к корпусу ГТД над рабочими колесами КНД, от газа к поверхностям межлопаточных каналов решеток сопловых аппаратов ТС и к корпусу ГТД над рабочими лопатками ТС при отсутствии и наличии бандажных полок; по критериальным уравнениям [6] – от воздуха к корпусу ГТД во входной проставке и в каналах кольцевого сечения, соответствующих переходнику, кожуху КС и полостям корпуса силового КВД, от газа к корпусу ГТД в каналах кольцевого сечения, соответствующих ОВ ТНД и ОВ ТС. Учитывались тепловой поток вследствие теплопроводности вдоль корпуса КВД, не включённого в геометрическую модель корпуса ГТД, и облучение кожуха КС расположенной внутри него ЖТ. С целью экономии вычислительных ресурсов для описания теплопроводности корпуса ГТД была использована модель тонкой теплопроводной оболочки.

В рамках обобщённой математической модели ТС укрытия [7] была сформулирована и решена задача о теплоотдаче при свободном движении воздуха, вызванном гравитационными силами, около корпуса ГТД, работающего на номинальном режиме, с использованием описанной выше тепловой модели корпуса

ГТД. Течение полагалось нестационарным, трёхмерным, турбулентным. Для замыкания системы уравнений неразрывности, сохранения импульса в форме Навье–Стокса и энергии использована модель турбулентности Лаундера–Сполдинга [8], учитывающая силы плавучести. Лучистый теплообмен учитывался включением в систему уравнения переноса излучения.

Численное решение отыскивалось в области пространства, охватывавшей зеркально симметричную половину корпуса ГТД, которая была заключена в цилиндрический объём достаточно большого диаметра, чтобы предполагать, что свободное движение, возникающее у его стенок, не сказывается на обтекании воздухом корпуса ГТД. Расчётная область покрывалась полиэдрической сеткой, включавшей 650 тыс. ячеек. На внутренней поверхности большинства участков корпуса ГТД (лопаточные венцы КНД и ТС, ОВ, полости вокруг КВД) задавались термические ГУ 3-го рода: коэффициенты теплоотдачи к внутренней поверхности корпуса ГТД от омывающего её рабочего тела и температуры рабочего тела. На внутренней поверхности кожуха КС применены комбинированные ГУ, предусматривавшие задание дополнительных параметров – температуры и коэффициента излучения ЖТ. На участке переходника между КНД и КВД задавались ГУ 2-го рода – тепловой поток. В модели твёрдотельной теплопроводности корпуса ГТД задавались толщины участков и коэффициенты теплопроводности материалов. В первом приближении учитывалась только поперечная теплопроводность корпуса ГТД, во втором – поперечная и продольная. Интегрирование континуальных уравнений выполнялось методом контрольного объёма. Уравнение переноса излучения решалось методом дискретных ординат.

Расчётные температуры наружных поверхностей десяти участков корпуса ГТД осреднялись по окружности в местах, соответствовавших фланцам корпуса ГТД, в которых производилось его термометрирование при отсутствии обдува двигателя вентиляционным воздухом (рис. 2).

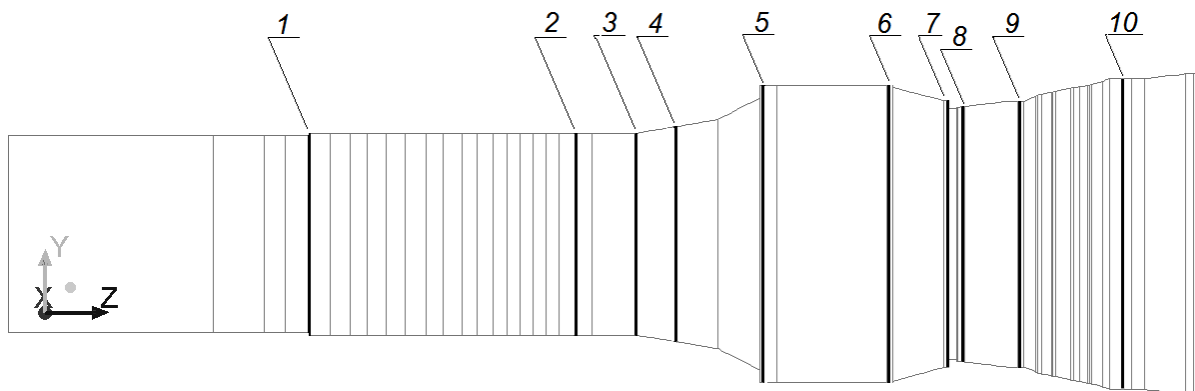


Рисунок 2 – Участки наружной поверхности корпуса ГТД, в которых определялись его средние по окружности температуры

Относительный подогрев наружных поверхностей участков корпуса ГТД определялся по формуле

$$\bar{\Theta} = \frac{T - T_B}{T_{\max.э} - T_B}, \quad (1)$$

где T – средняя температура наружной поверхности участка корпуса ГТД; T_B – температура окружающей среды; $T_{\max,э}$ – максимальная замеренная температура наружной поверхности участка корпуса ГТД.

Результаты расчёта относительного подогрева наружных поверхностей участков корпуса ГТД в различных приближениях показаны на рис. 3 и 4.

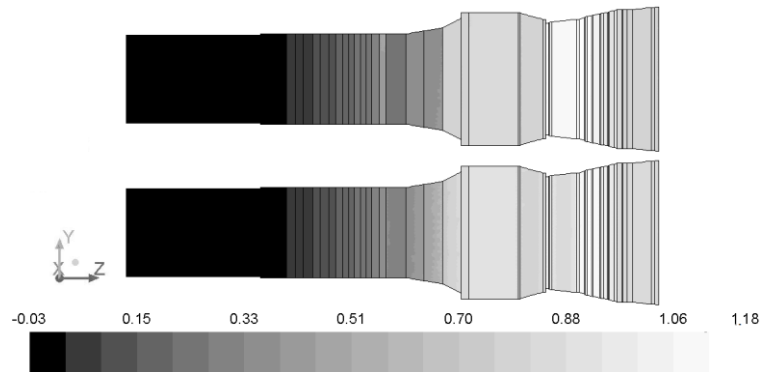


Рисунок 3 – Относительный подогрев наружных поверхностей участков корпуса ГТД: вверху – первое приближение; внизу – седьмое приближение

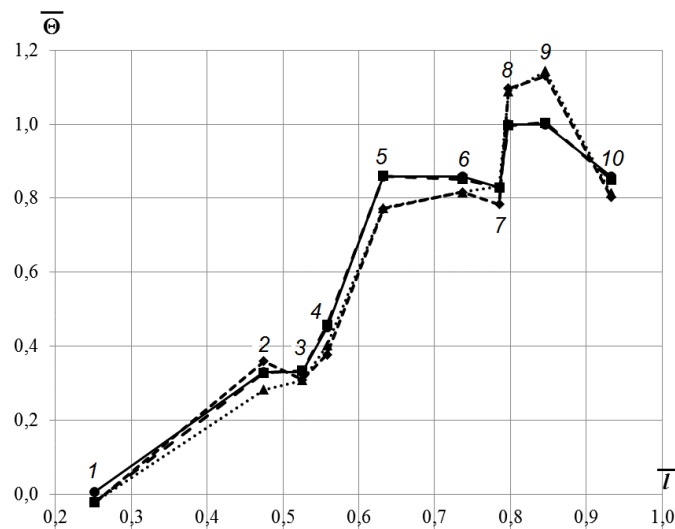


Рисунок 4 – Изменение относительного подогрева наружных поверхностей участков корпуса двигателя по его относительной длине (номера точек на графике соответствуют номерам участков на рис. 2) : —●— — замеренные значения; - -◆- - первое приближение;▲..... – второе приближение; - -■- - седьмое приближение

Из рис. 4 видно, что характер изменения расчётных температур наружной поверхности корпуса ГТД, полученных в первом приближении, качественно соответствует характеру изменения замеренных температур, за исключением участков с равной температурой. При учёте продольной теплопроводности (второе приближение) на большинстве участков температуры наружной поверхности корпуса ГТД изменяются незначительно, за исключением участка 2, где подводится тепловой поток, и участка 7, соответствующего застойной области вокруг корпуса ТВД и ТНД. Очевидно подведенный тепловой поток распространяется по корпусу КНД, что приводит к уменьшению температуры на участке 2, а температура на участке 7

увеличивается за счет распространения теплоты от корпуса ОВ ТНД. Наибольшее количественное различие расчётных и измеренных температур имеет место в районе корпуса ТС (участок 9), достигая во втором приближении 71 градуса или 9 %. Данное несоответствие объясняется не учётом подводов и отводов теплоты от деталей и элементов корпуса ГТД, не включённых в геометрическую модель, ошибками, внесёнными при расчёте ГУ, а также погрешностями самого эксперимента. Теплота посредством продольной теплопроводности, в частности, подводится к участкам корпуса ГТД по корпусным деталям от передней опоры ротора КНД, от корпуса КВД, от корпуса ТВД и ТНД, а отводится к задней опоре ротора КНД, опорам турбокомпрессора высокого давления, опорам ТС. Ошибки расчётов обусловлены погрешностями уравнений термодинамической модели ГТД, критериальных уравнений и численных методов, а также неизвестностью точных значений некоторых параметров ГТД (КПД узлов, потерь в элементах проточной части, отборов на охлаждение горячих элементов, температуры стенок ЖТ и т. д.) и геометрических размеров проточной части ГТД.

Основываясь на допущении, что условия в проточной части ГТД не зависят от внешней обстановки, можно внести поправки в параметры тепловой модели корпуса ГТД, которые останутся постоянными вне зависимости от наличия или отсутствия его обдува вентиляционным воздухом и будут компенсировать перечисленные выше ошибки, выполнив идентификацию температур наружной поверхности корпуса ГТД по их экспериментальным значениям.

Идентификация тепловой модели корпуса ГТД

Для идентификации модели использованы температуры наружных поверхностей корпуса двигателя, замеренные на «горячих» участках 2 – 9. Участок 1 принадлежит к холодной части корпуса ГТД, которая оказывает незначительное влияние на ТС оборудования БС ТКА. Кроме того, результаты термометрирования участка 1 были признаны недостоверными, поскольку измеренное значение температуры участка 1 из-за несовершенства измерений и (или) ошибки округления их результатов совпадает с температурой окружающей среды, тогда как даже с учётом передачи теплоты от передней опоры ротора КНД и опор привода физически возможное значение температуры корпуса ГТД на этом фланце находится между значениями температур воздуха внутри проточной части и снаружи ГТД.

ГУ, а именно значения теплового потока, коэффициентов теплоотдачи и температуры ЖТ, на ряде участков наружной поверхности корпуса ГТД уточнялись методом дихотомии. Получаемые в ходе итерационной процедуры расчётные температуры наружной поверхности сравнивались с экспериментальными. Было выполнено ещё пять приближений, пока различия между расчётными и экспериментальными оценками температур не стали меньше 5 К.

Из рис. 3 видно, что температуры наружной поверхности корпусов ОВ ТНД и ТС, полученные на седьмом приближении, уменьшились по сравнению с температурами, полученными на первом приближении, а корпуса КНД, наоборот, увеличились. С физической точки зрения снижение температуры корпуса ОВ ТНД обусловлено стоком теплоты к задней опоре турбокомпрессора высокого давления и передней опоре ТС. Из рис. 4 видно, что расчётное распределение температур, полученное в седьмом приближении, на всех участках соответствует экспериментальному. Максимальные различия не превышают 3,5 градусов (0,5 %).

Выводы. Разработана расчётно-экспериментальная тепловая модель корпуса ГТД как основного источника тепловыделения в пространство укрытия БС ТКА, основанная на описании физических процессов, происходящих внутри ГТД, и не требующая коррекции экспериментально измеренной термограммы корпуса ГТД в зависимости от режима работы двигателя и интенсивности его обдува вентиляционным воздухом. Тепловая модель корпуса ГТД может быть использована для оценки ТС оборудования БС ТКА методами CFD.

Направления дальнейших исследований авторы видят в верификации математической модели ТС укрытия, включающей разработанную тепловую модель корпуса ГТД, по данным натурных испытаний БС ТКА при наличии обдува двигателя вентиляционным воздухом.

Обозначения. $\bar{\Theta}$ – относительный подогрев; T – температура, К; ТКА – турбокомпрессорный агрегат; ГТД – газотурбинный двигатель; БС – силовой блок; CFD – вычислительная аэрогидродинамика (Computational Fluid Dynamics); ТС – тепловое состояние; ГУ – граничные условия; ЖТ – жаровая труба; КНД – компрессор низкого давления; ТС – силовая турбина; КВД – компрессор высокого давления; КС – камера сгорания; ТВД – турбина высокого давления; ТНД – турбина низкого давления; ОВ – опорный венец.

Литература

1. Исследование газодинамических характеристик шумотеплоизолирующего кожуха газотурбинной установки газоперекачивающего агрегата при аварийном отключении вентиляторов системы охлаждения / П.В. Трусов, Д.А. Чарнцев, И.Р. Кац, В.В. Мокшанов, А.М. Печенкина // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2008. – № 9. – С. 27–29.
2. Месропян А.В. Численное моделирование газодинамики и теплопереноса в системе охлаждения бокса ГТД / А.В. Месропян, И.И. Мухамедзянова // Вестник УГАТУ. – 2010. – Т. 14, № 1. – С. 25–31.
3. Чарнцев Д.А. Математическое моделирование теплового состояния шумотеплоизолирующих кожухов: автореф. дис. на соискание учёной степени канд. техн. наук: спец. 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» / Д.А. Чарнцев. – Пермь, 2012. – 16 с.
4. Results and Experience from Ge Energy's MS5002E Gas Turbine Testing and Evaluation / M. D'Ercole, G. Biffaroni, F. Grifoni, F. Zanobini, P. Pecchi // Proceedings of ASME TurboExpo 2005. Reno, Nevada, USA. June 6–9, 2005. GT2005-68053. – 9 pp.
5. Теплопередача в охлаждаемых деталях газотурбинных двигателей летательных аппаратов / В.И. Локай, М.Н. Бодунов, В.В. Жуйков, А.В. Щукин. – М.: Машиностроение, 1985. – 216 с.
6. Крейт Ф. Основы теплопередачи / Крейт Ф., Блэк У. – М.: Мир, 1983. – 512 с.
7. Костюк В.Е. Обобщённая математическая модель теплового состояния укрытий газотурбинных установок / В.Е. Костюк, Е.И. Кириладш, А.Л. Кравчук // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2013. – № 1. – С. 22–26.
8. Launder В.Е. Lectures in Mathematical Models of Turbulence / В.Е. Launder, D.В. Spalding. – London: Academic Press, 1972. – 169 p.

Bibliography (transliterated)

1. Issledovanie gazodinamicheskikh harakteristik shumoteploizoliruyushego kozhuha gazoturbinnoy ustanovki gazoperekachivayushego agregata pri avariynom otklyuchenii ventilyatorov sistemyi ohlazhdeniya. P.V. Trusov, D.A. Charntsev, I.R. Kats, V.V. Mokshanov, A.M. Pechenkina. Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. – 2008. – # 9. – P. 27–29.

2. Mesropyan A.V. Chislennoe modelirovanie gazodinamiki i teplomassoperenosa v sisteme ohlazhdeniya boksa GTD. A.V. Mesropyan, I.I. Muhamedzyanova. Vestnik UGATU. – 2010. – T. 14, # 1. – P. 25–31.

3. Charntsev D.A. Matematicheskoe modelirovanie teplovogo sostoyaniya shumoteploizoliruyuschih kozhuhov: avtoref. dis. na soiskanie uchyonoy stepeni kand. tehn. nauk: spets. 05.13.18 «Matematicheskoe modelirovanie, chislennyye metodyi i kompleksyi programm». D.A. Charntsev. – Perm, 2012. – 16 p.

4. Results and Experience from Ge Energy's MS5002E Gas Turbine Testing and Evaluation. M. D'Ercole, G. Biffaroni, F. Grifoni, F. Zanobini, P. Pecchi. Proceedings of ASME TurboExpo 2005. Reno, Nevada, USA. June 6–9, 2005. GT2005-68053. – 9 pp.

5. Teploperedacha v ohlazhdaemyih detalyah gazoturbinnyyih dvigateley letatelnyih apparatov V.I. Lokay, M.N. Bodunov, V.V. Zhuykov, A.V. Schukin. – M.: Mashinostroenie, 1985. – 216 p.

6. Kreyt F. Osnovyi teploperedachi. Kreyt F., Blek U. – M.: Mir, 1983. – 512 p.

7. Kostyuk V.E. Obobschyonnaya matematicheskaya model teplovogo sostoyaniya ukrytiy gazoturbinnyyih ustanovok. V.E. Kostyuk, E.I. Kirilash, A.L. Kravchuk. Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie. – 2013. – # 1. – P. 22–26.

8. Launder B.E. Lectures in Mathematical Models of Turbulence. B.E. Launder, D.B. Spalding. – London: Academic Press, 1972. – 169 p.

УДК 62-758.34/36:621.438:621.1.016.4.001.57:519.6

Костюк В.Є., Кирилаш О.І.

ТЕПЛОВА МОДЕЛЬ КОРПУСА ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

Розроблено теплову модель корпусу ГТД, який є основним джерелом тепловиділення до простору укриття силового блока турбокомпресорного агрегата. Для підвищення адекватності моделі виконано ідентифікацію температур зовнішньої поверхні корпусу ГТД за їх експериментальними значеннями. Теплову модель корпусу ГТД можна використовувати для оцінки теплового стану обладнання силового блока.

Kostyuk V.Ye., Kirilash Ye.I.

GAS-TURBINE CASE HEAT MODEL

Heat model of the gas-turbine case, which is the main source of the heat release into turbocompressor unit power block enclosure space, was developed. Identification of the gas-turbine case outer surface temperatures by their experimental values for model adequacy improvement was done. Gas-turbine case heat model can be used to power block equipment heat regimen estimation.

УДК 669.187.001.2

Алали Мусана, Кричковська Л.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЕНТА ИЗ ОТХОДОВ АПК И НАНОТРУБОК ДЛЯ РАФИНАЦИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

Аннотация. Целью исследования является определение эффективного адсорбента, который обеспечивает наивысшую степень вывода перекисных соединений и бензо(а)пирена ПАВ из подсолнечного масла. В технологии рафинации подсолнечного масла особое место занимает адсорбционная очистка, которая позволяет значительно снизить содержание растворенных в масле веществ: пигментов, восков, остатков фосфолипидов, а также мыл, продуктов окисления (первичных и вторичных), ионов металлов и тем самым значительно увеличить качество масла и улучшить его дальнейшую обработку. Эффективность адсорбционной очистки во многом определяется выбором адсорбента, выбор которых в Украине до сих пор недостаточен, поэтому работа посвящена разработке адсорбента на основе отходов переработки семян подсолнечника – его шелухи. Сырье из отходов проходит как и нанотрубки стадию пиролиза. Этот углесодержащий продукт испытывался в качестве адсорбента для улучшения качества масла.

Введение

В технологии рафинации особое место отведено адсорбционной очистке, которая позволяет значительно снизить содержание растворенных в растительных маслах веществ – пигментов, восков, остатков фосфолипидов, а также мыла, продуктов окисления (первичных и вторичных), йонов металлов, и таким образом значительно повысить качество масла и его дальнейшую переработку [1,2]. Эффективность адсорбционной очистки в значительной мере определяется выбором адсорбента. В качестве адсорбентов при обработке масел и жиров используют известные кислотно-активированные отбельные глины бентонит или монтмориллонит), активированный уголь и силикатные адсорбенты [3,4]. Тем не менее, технологические возможности при выборе типа адсорбента ограничены.

В Украине в настоящее время отсутствует отечественное производство адсорбентов, что вынуждает предприятия использовать эффективные, но дорогие зарубежные "Трисил-300", "Фумонд", "Фильтрон", "Тонсил" и др.[5,7]

Одним из отходов маслодобывающего производства является подсолнечный шрот, адсорбционная способность которого определяется его природой [1]. К сожалению, сегодня в основном лузга используется как топливо.

Таким образом, разработка эффективного и недорогого отечественного сорбента на основе подсолнечной лузги и эффективной технологии адсорбционной очистки подсолнечного масла и отходов его рафинации является актуальной задачей.

Целью работы является разработка научно-обоснованной технологии очистки подсолнечного масла и отходов его рафинации модифицированным адсорбентом на основе подсолнечной лузги и нанотрубок, полученных методом пиролиза.

Эффективное отбеливание является важнейшим этапом в переработке растительного масла. Именно поэтому из всех других стадий рафинации стадия отбеливания имеет самое важное значение для обеспечения качества продукта [3,4]. Уменьшение цветности наиболее очевидный результат отбелики пищевых масел, но

определение незначительных примесей очень важно в обеспечении у конечного продукта приемлемого вкуса, характеристик старения и окислительной стабильности.

При исследовании адсорбента уделялось внимание адсорбционной обработке масла как средству снижения продуктов первичного окисления, измеряемых пероксидным числом, и продуктов вторичного окисления, измеряемых анизидиновым числом. Именно продукты вторичного окисления вызывают наличие в масле нежелательного запаха и плохих вкусовых качеств [7,8].

В последнее десятилетие распространяется тенденция производства рафинированного растительного масла с низким цветовым числом и длительным сроком хранения готового продукта. На практике этот тип адсорбционной переработки уже получил широкое распространение, как полученный, так как полученная при этом продукция не только удовлетворяет потребительский спрос, но также позволяет удалить продукты окисления масла, включая свободные радикалы и другие канцерогенные примеси [1-3]. Производители вынуждены подбирать не только оптимальные режимы переработки масла но и использовать более эффективные сорбенты во время адсорбционной переработки. В последнее время все больше и больше внимания уделяется безопасности пищевых продуктов, включая растительные масла и жиры. Безопасность определяется прежде всего содержанием примесей антропогенного и природного происхождения – диоксидам и полициклическим ароматическим углеводородам [3–6], [7–9].

Таким образом, изучение адсорбционной емкости промышленных адсорбентов для удаления полиароматических углеводородов (в частности, бензпирена) является актуальной научной и практической задачей.

Целью исследования является разработка эффективного адсорбента, который обеспечивает больший уровень выведения пероксидных соединений и бенз(а)пирена (ПАВ) из растительных масел.

Сырьем в исследованиях использовано масло подсолнечное с физико-химическими и органолептическими показателями по ГОСТУ 4492 (табл. 1) [10].

Исходным сырьем для получения сорбента являлся продукт переработки подсолнечных семян, получающихся в результате отжима после сушки (лузга подсолнечника). Выжимка содержала (6–9) % масла, (25–55) % воды. Выжимка рассеивалась на фракции 5–7 см; затем исходные материалы подвергались термической обработке в муфельной печи при температурах 150–450 °С с интервалом 50 °С. Термическая обработка материалов при температурах 150 °С, 200 °С, 300 °С составила 1 час, а при температурах 400–450 °С – 15 минут. Температурные и временные параметры обработки материалов были приняты близкими к величинам, которые являлись оптимальными при получении сорбентов. Увеличение времени обработки материалов до 1 часа принято из соображений лучшей подготовки сорбционных свойств выбранных материалов растительного происхождения.

Адсорбент из лузги подсолнечника смешивался с нанотрубками, полученными после пиролиза кокса и в таком виде испытывался в лабораторных условиях для рафинации подсолнечного масла. Получившийся в результате температурной обработки продукт представляет собой сухую рассыпчатую массу коричневого цвета размером (0,3–0,5)см. (табл. 1).

Определение цветного числа масел осуществлялось по шкале стандартных растворов йода в соответствии ГСТУ 4568 [11], определение кислотного числа масла – по ГСТУ 4350 (ISO 660, NEQ) [12], перекисного – ГСТУ 3960 [13], бенз(а)пирена и суммы полиароматических углеводородов – ГСТУ 4689 [14].

Таблиця 1 – Характеристика лузги підсолнечника після піролізу (400 °С)

Найменування показателя	Характеристика
Внешній вид	Зёрна темного цвета без механических добавок
Размер зерен: >3,6 мм, %, не более	2,7
3,6–1,0 мм, %, не менее	95,0
<1,0 мм, %, не более	2,2
Адсорбционная активность по йоду, %, не меньше	60
Сумарный объём пор по воде, см ³ /г, не меньше	1,8
Объёмная плотность, г/дм ³ , не больше	245
Массовая часть золы, %, не больше	4,0
Массовая часть влаги, %, не больше	4,5

Результаты исследований

Важной и необходимой стадией современной переработки является адсорбционная очистка. Этот этап очень важен в подготовке масел для производства продуктов питания (маргарин, майонез), косметической и других жировых продуктов. Классическому отбеливанию подвергаются масла после тщательной гидратации, нейтрализации, промывки, сушки. Задача адсорбционной очистки заключается в максимальном выделении из масла красящих веществ, остатков фосфолипидов, натриевых мыл, жирных кислот и производных металлов [3].

Отбеливание – это последний этап, при котором возможно удаление фосфолипидов, которые не поддаются гидратации. Даже незначительное содержание фосфора (уровень $4 \cdot 10^{-4}\%$) перед тем, как процессами дезодорации и гидратации может привести к ухудшению вкуса, потемнению масла и отравлениям. Остаточные мыла, также удаляются в результате адсорбции, так как на стадии дезодорации и гидрогенизации могут отрицательно повлиять на вкус и стабильность готовой продукции. Удаление первичных продуктов окисления во время отбеливания важно для получения дезодорированного масла высокого качества.

Выбор адсорбента зависит главным образом от трех факторов: стоимости, активности и потерь масла. Количество адсорбента необходимое для этого процесса зависит от активности и физико-химических характеристик адсорбента, типа и цвета необработанного масла, желательного цвета отбеленного масла а также от рабочих параметров процесса. Ввиду отсутствия в Украине качественных адсорбентов масложировые предприятия вынуждены либо отказаться от адсорбционной очистки масел и жиров, что неизбежно приводит к ухудшению качества готового продукта, или жира либо сталкиваются с необходимостью самостоятельного поиска или приобретения импортных адсорбентов [1].

Предыдущие исследования показали, что первоначальное рафинированное подсолнечное масло имеет кислотное число 0,81 мгКОН/г, и пероксидное – 9,3 ммоль/кг 1/2O, цветное – 9 мг J2. Далее провели серию экспериментов с адсорбционной очисткой рафинированного подсолнечного масла с абсорбентами, полученными из лузги подсолнечника с нанотрубками после пиролиза. Основные технологические параметры очистки адсорбционной очистки в лабораторных условиях для всех

експериментів були однаковими: маса порції масла – 100г; норма введеного адсорбента – 1,0 %; температура процесу – 85 °С; остаточне тиск – 2,7–9,7 кПа; тривалість процесу – від 15 до 30 хв. Адсорбційна очистка проводилась при перемішуванні магнітної мешалкою (n = 170 об/хв) і в середі інертного газу.

Таблиця 2 – Якіснісні і кількісні показателі рослинного масла

Найменування об'єкта, показателі	Кислотне число, мг КОН	Масова частка вологи і летучих речовин, %	Перекисне число, ммоль ½О/кг	Цвітне число, мг йода	Склад вітамінів	
					Каротин	Вітамін Е
Дезодороване підсонячне масло	0,81	0,12	9,3	9	0,58	101,0

Як видно з таблиці 3 рівень токсичних доданків при діянні вуглеродсодержащего адсорбента з лузги семя підсонячника і нанотрубок зменшався.

Окислювальна стабільність масла є важливим показателем якості, тому проведено дослідження окислювальної стабільності зразків продукції по розробленій технології адсорбції в порівнянні з дезодорованим підсонячним маслом в якості контролю. При дослідженні окислювальної стабільності зразків масла в залежності від температури ініційованого окислення (70–75 °С) було показано, що час окислювальної стабільності масла, збільшувалося на 55 хв, причём швидкість дифузії кисню в одиницю часу зменшувалась в 1,5 рази (табл. 3).

Таблиця 3 – Вплив адсорбента на показателі окислювальної стабільності масла

Отбілене підсонячне масло			Підсонячне масло, контроль		
Перекисне число, ммоль ½О/кг	Анізидинове число, ед	Степень окисленості	Перекисне число, ммоль ½О/кг	Анізидинове число, ед	Степень окисленості
Час зберігання 3 днів					
0,5	0,7	1,7	0,98	0,7	1,9
Час зберігання 50 днів					
0,6	1,0	2,2	0,9	1,2	3,0
Час зберігання 80 днів					
0,9	1,5	3,3	1,6	2,0	4,2
Час зберігання 120 днів					
1,7	2,4	5,6	3,0	2,5	8,5

Применение адсорбента из лузги и нанотрубок снижало уровень перекисидации, анизидиновое число и степень окисленности масла. Уровень полиароматических углеводов обработанном адсорбентом масле также снижался до нормативных значений (табл. 4).

Таблица 4 – Содержание полиароматических углеводов в масле до и после адсорбции

Наименование полиароматического углеводов	Вміст ПАВ, мг/кг	
	Начальное масло	Отбельное масло
Бенз(а)пирен	2,78	1,48
Бенз(а)антрацен	3,72	1,84
Бенз(в)флуорантрен	2,94	2,17
Сума ПАВ	9,44	5,49

Полученные данные свидетельствуют о том, что содержание полиароматических углеводов в начальном масле превышает пределы, установленные по ограничению бензо(а)пирена – 2,78 мг/кг против стандартных 2,0 мг/кг, и по сумме ПАВ: 9,44 мг/кг (в сумму ПАВ входят не все полиароматические углеводороды), что превышает стандарт для растительных масел. В отбеленном подсолнечном масле показатели содержания бензо(а)пирена – 1,48 мг/кг и количество ПАВ-5,49 мг/кг соответствуют установленным стандартам.

Выводы

Таким образом, использование углесодержащего адсорбента из лузги семян подсолнечника и нанотрубок в процессе адсорбционной чистки обеспечивает необходимую степень извлечения полиароматических углеводов из подсолнечного масла, приводит к снижению показателей снижающих его качество и безопасность.

Литература

1. Фіалковська Л.В. Адсорбційна очистка соняшникової олії : автореферат дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн., наук: 05.18.06.– Харків, 1997. – 7 с.
2. Moret S. Processing Effects on The Polyaromat Hydrocarbon Content of Grapeseed Oil // aocs, 2000. – vol. 77. – №12. – P. 1289–1292.
3. Н.В. Paterson. Bleaching and Purifying Fats and Oils: theory and practice / Материали научно-практич. семинара «Современные аспекты переработки масел и жиров. – Винница: М.П.«Инвент Лтд», 2002. – С. 51–54.
4. Ф. Велдкамп, С. Домина. Новые технологии фильтрации отбельного масла / Масла и жиры, 2008.– №9. – с. 6–7; №10. – с. 28–30.
5. Паронян В.Х. Технология жиров и жирозаменителей. – М. : Делипринт, – 2006. – 760 с.
6. Отбеливание масел и жиров: опыт фирмы Альфа Лаваль // масла и жира, 2003. – №3(13). – С. 5–6.
7. Е.М. Камышан, А.Н. Тырсина, В.Х. Паронян, Ю.А. Тырсин. Адсорбционная очистка растительных масел // Масложировая промышленность, 2004. №1. – С. 44–45.

8. В. Голодня, Н. Граница, Л. Григорова и др. О содержании бенз(а)пирена в растительных маслах и жирах: история вопроса, регламентации, методика // *Масла и жиры*, 2013.– №5–6. – С. 6–11.
9. Арутюнян Н.С., Аришева Е.А., Янова Л.И., Захарова И.И., Меламуд Н.А. *Технология переработки жиров.*– М., Агропромиздат, 1985.– 368 с.
10. Олія соняшникова. Технічні умови: ДСТУ 4492:2005.– Київ: Держспоживстандарт України, 2006.
11. Олії. Методи визначення колірного числа: ДСТУ 4350:2006. – Київ: Держспоживстандарт України, 2005. Олії. Методи визначення кислотного числа: ДСТУ 4350:2004. – Київ: Держспоживстандарт України, 2008. – 12 с.
12. Продукти харчові. Методи визначення масової частки бенз(а)пірену: ДСТУ 4689:2006. – Київ: Держспоживстандарт України.
13. Н.А. Меламуд. Содержание диоксинов и полиароматических углеводородов в отбельной земле // Balenoric L., Petrovic I., Perkovas m., Determinstion of Polycyclic aromatic Hydrocarbons in Vegetable Oils // *Proc. Of Euro Food Chemistry VIII*, 1995. – vol. 2. – P. 275–281.
14. Великий П.С., Домина Р.Г. Новые технологии фильтрации отбельного масла // *Масла и жиры*, 2005.– №3(49).– С. 14–17.

Bibliography (transliterated)

1. Flalkovska L.V. Adsorbtslyna ochistka sonyashnikovoyi oliyi : avtoreferat dis. na zdobuttya naukovogo stupenya kand. tehn., nauk: 05.18.06.– Harkiv, 1997. – 7 p.
2. Moret S. Processing Effects on The Polyaromat Hydrocarbon Content of Grapeseed Oil. *aocs*, 2000. – vol. 77. – #12. – P. 1289–1292.
3. Н.В. Paterson. Bleaching and Purifying Fats and Oils: theory and practice. *Materialyi nauchno-praktich. seminaru «Sovremennyye aspektyi pererabotki masel i zhirov.* – Vinnytsa: M.P.«Invent Ltd», 2002. – P. 51–54.
4. F. Veldkamp, S. Domina. Novyye tehnologii filtratsii otbelnogo masla. *Masla i zhiry*, 2008.– #9. – p. 6–7; #10. – p. 28–30.
5. Paronyan V.H. *Tehnologiya zhirov i zhirozameniteley.* – М. : Deliprint, – 2006. – 760 p.
6. Otbelivanie masel i zhirov: opyt firmy Alfa Laval. *masla i zhira*, 2003. – #3(13). – P. 5–6.
7. E.M. Kamyishan, A.N. Tyirsina, V.H. Paronyan, Yu.A. Tyirsin. Adsorbtsionnaya ochistka rastitelnyih masel. *Maslozhirovaya promyishlennost*, 2004. #1. – P. 44–45.
8. V. Golodnya, N. Granitsa, L. Grigorova i dr. O soderzhanii benz(a)pirena v rastitelnyih maslah i zhirah: istoriya voprosa, reglamentatsii, metodika. *Masla i zhiry*, 2013.– #5–6. – P. 6–11.
9. Arutyunyan N.S., Arisheva E.A., Yanova L.I., Zaharova I.I., Melamud N.A. *Tehnologiya pererabotki zhirov.*– М., Agropromizdat, 1985.– 368 p.
10. Oliya sonyashnikova. Tehnichni umovi: DSTU 4492:2005.– Kiyiv: Derzhspozhivstandart Ukrayini, 2006.
11. Oliyi. Metodi viznachennya kolirnogo chisla: DSTU 4350:2006. – Kiyiv: Derzhspozhivstandart Ukrayini, 2005. Oliyi. Metodi viznachennya kislotnogo chisla: DSTU 4350:2004. – Kiyiv: Derzhspozhivstandart Ukrayini, 2008. – 12 p.
12. Produkti harchovi. Metodi viznachennya masovoyi chastki benz(a)pirenu: DSTU 4689:2006. – Kiyiv: Derzhspozhivstandart Ukrayini.

13. N.A. Melamud. Soderzhanie dioksinov i poliaromaticeskikh uglevodorodov v otbelnoy zemle. Balenoric L., Petrovic I., Perkovas m., Determinstion of Polycyclic aromatic Hydrocarbons in Vegetable Oils. Proc. Of Euro Food Chemistry VIII, 1995. – vol. 2. – P. 275–281.

14. Velikiy P.S., Domina R.G. Novyie tehnologii filtratsii otbelnogo masla. Masla i zhiryi, 2005.– #3(49).– P. 14–17.

УДК 669.187.001.2

Алалі Мусана, Кричковська Л.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ АДСОРБЕНТУ З ВІДХОДІВ АПК ТА НАНОТРУБОК ДЛЯ РАФІНАЦІЇ РОСЛИННИХ ОЛІЙ

Ціллю дослідження було визначення ефективного адсорбенту, що забезпечував би найвищий ступінь виводу перекисних сполук та бензпирену із соняшnikової олії. У технології рафінації соняшnikової олії особливе місце займає адсорбційне очищення, котре дозволяє значно знизити вміщення розчинених в олії речовин: пігментів, восків, залишків фосфоліпідів, а також мил, продуктів окиснення (первинних та вторинних), йонів металів і тим самим значно збільшити якість олії та покращити його подальшу обробку. Ефективність адсорбційного очищення визначається вибором адсорбенту, яких в Україні до цих пір недостатньо, тому робота присвячена розробці адсорбенту на основі відходів переробки насіння соняшника – його лузги. Сировина з відходів проходить як і нанотрубки стадію піролізу. Цей вуглецевміщуючий продукт досліджувався в якості адсорбенту для підвищення якості олії.

Alali Musana, Krichkovskaya L.V.

THE CHOOSING OF ABSORBENT FROM AGRICULTURAL WASTES AND NANOTUBES FOR VEGETABLE OILS SAFETY

The aim of this investigation is to find the most effective adsorbent that provides the highest level of removal the peroxide compounds and benzopyrene from sunflower oil using the surfactants.

In the technology of sun flower oil refining the particular place is allocated for the absorption refining that lets considerably decrease the content of substances are soluble in the vegetable oils – pigments, waxes, the rests of phospholipids, soaps and oxidation products (primary and secondary ones), metal ions as well, and in such a way increase considerably the oil quality and improve its subsequent refinement.

The effectiveness of refinement by absorption is determined with choice of the adsorbent in considerable extent, but such a choice is not sufficient in Ukraine, and that because this study is dedicated to the adsorbent development on the base of sun flower seeds wastes left after their treatment – their shells. The raw materials of these wastes will be exposed to the pyrolysis stage similar to the nanotubes obtained from coke pyrolysis. This carbon – containing product has been tested as adsorbent in order to increase the quality of sunflower oil.

УДК 669.187.001.2

Алали Мусана, Кричковська Л.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЕНТА ИЗ ОТХОДОВ АПК И НАНОТРУБОК ДЛЯ РАФИНАЦИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

Аннотация. Целью исследования является определение эффективного адсорбента, который обеспечивает наивысшую степень вывода перекисных соединений и бензо(а)пирена ПАВ из подсолнечного масла. В технологии рафинации подсолнечного масла особое место занимает адсорбционная очистка, которая позволяет значительно снизить содержание растворенных в масле веществ: пигментов, восков, остатков фосфолипидов, а также мыл, продуктов окисления (первичных и вторичных), ионов металлов и тем самым значительно увеличить качество масла и улучшить его дальнейшую обработку. Эффективность адсорбционной очистки во многом определяется выбором адсорбента, выбор которых в Украине до сих пор недостаточен, поэтому работа посвящена разработке адсорбента на основе отходов переработки семян подсолнечника – его шелухи. Сырье из отходов проходит как и нанотрубки стадию пиролиза. Этот углесодержащий продукт испытывался в качестве адсорбента для улучшения качества масла.

Введение

В технологии рафинации особое место отведено адсорбционной очистке, которая позволяет значительно снизить содержание растворенных в растительных маслах веществ – пигментов, восков, остатков фосфолипидов, а также мыла, продуктов окисления (первичных и вторичных), йонов металлов, и таким образом значительно повысить качество масла и его дальнейшую переработку [1,2]. Эффективность адсорбционной очистки в значительной мере определяется выбором адсорбента. В качестве адсорбентов при обработке масел и жиров используют известные кислотно-активированные отбельные глины бентонит или монтмориллонит), активированный уголь и силикатные адсорбенты [3,4]. Тем не менее, технологические возможности при выборе типа адсорбента ограничены.

В Украине в настоящее время отсутствует отечественное производство адсорбентов, что вынуждает предприятия использовать эффективные, но дорогие зарубежные "Трисил-300", "Фумонд", "Фильтрон", "Тонсил" и др.[5,7]

Одним из отходов маслодобывающего производства является подсолнечный шрот, адсорбционная способность которого определяется его природой [1]. К сожалению, сегодня в основном лузга используется как топливо.

Таким образом, разработка эффективного и недорогого отечественного сорбента на основе подсолнечной лузги и эффективной технологии адсорбционной очистки подсолнечного масла и отходов его рафинации является актуальной задачей.

Целью работы является разработка научно-обоснованной технологии очистки подсолнечного масла и отходов его рафинации модифицированным адсорбентом на основе подсолнечной лузги и нанотрубок, полученных методом пиролиза.

Эффективное отбеливание является важнейшим этапом в переработке растительного масла. Именно поэтому из всех других стадий рафинации стадия отбеливания имеет самое важное значение для обеспечения качества продукта [3,4]. Уменьшение цветности наиболее очевидный результат отбелики пищевых масел, но

определение незначительных примесей очень важно в обеспечении у конечного продукта приемлемого вкуса, характеристик старения и окислительной стабильности.

При исследовании адсорбента уделялось внимание адсорбционной обработке масла как средству снижения продуктов первичного окисления, измеряемых пероксидным числом, и продуктов вторичного окисления, измеряемых анизидиновым числом. Именно продукты вторичного окисления вызывают наличие в масле нежелательного запаха и плохих вкусовых качеств [7,8].

В последнее десятилетие распространяется тенденция производства рафинированного растительного масла с низким цветовым числом и длительным сроком хранения готового продукта. На практике этот тип адсорбционной переработки уже получил широкое распространение, как полученный, так как полученная при этом продукция не только удовлетворяет потребительский спрос, но также позволяет удалить продукты окисления масла, включая свободные радикалы и другие канцерогенные примеси [1-3]. Производители вынуждены подбирать не только оптимальные режимы переработки масла но и использовать более эффективные сорбенты во время адсорбционной переработки. В последнее время все больше и больше внимания уделяется безопасности пищевых продуктов, включая растительные масла и жиры. Безопасность определяется прежде всего содержанием примесей антропогенного и природного происхождения – диоксидам и полициклическим ароматическим углеводородам [3–6], [7–9].

Таким образом, изучение адсорбционной емкости промышленных адсорбентов для удаления полиароматических углеводородов (в частности, бензпирена) является актуальной научной и практической задачей.

Целью исследования является разработка эффективного адсорбента, который обеспечивает больший уровень выведения пероксидных соединений и бенз(а)пирена (ПАВ) из растительных масел.

Сырьем в исследованиях использовано масло подсолнечное с физико-химическими и органолептическими показателями по ГОСТУ 4492 (табл. 1) [10].

Исходным сырьем для получения сорбента являлся продукт переработки подсолнечных семян, получающихся в результате отжима после сушки (лузга подсолнечника). Выжимка содержала (6–9) % масла, (25–55) % воды. Выжимка рассеивалась на фракции 5–7 см; затем исходные материалы подвергались термической обработке в муфельной печи при температурах 150–450 °С с интервалом 50 °С. Термическая обработка материалов при температурах 150 °С, 200 °С, 300 °С составила 1 час, а при температурах 400–450 °С – 15 минут. Температурные и временные параметры обработки материалов были приняты близкими к величинам, которые являлись оптимальными при получении сорбентов. Увеличение времени обработки материалов до 1 часа принято из соображений лучшей подготовки сорбционных свойств выбранных материалов растительного происхождения.

Адсорбент из лузги подсолнечника смешивался с нанотрубками, полученными после пиролиза кокса и в таком виде испытывался в лабораторных условиях для рафинации подсолнечного масла. Получившийся в результате температурной обработки продукт представляет собой сухую рассыпчатую массу коричневого цвета размером (0,3–0,5)см. (табл. 1).

Определение цветного числа масел осуществлялось по шкале стандартных растворов йода в соответствии ГСТУ 4568 [11], определение кислотного числа масла – по ГСТУ 4350 (ISO 660, NEQ) [12], перекисного – ГСТУ 3960 [13], бенз(а)пирена и суммы полиароматических углеводородов – ГСТУ 4689 [14].

Таблиця 1 – Характеристика лузги підсолнечника після піролізу (400 °С)

Найменування показателя	Характеристика
Внешній вид	Зёрна темного цвета без механических добавок
Размер зерен: >3,6 мм, %, не более	2,7
3,6–1,0 мм, %, не менее	95,0
<1,0 мм, %, не более	2,2
Адсорбционная активность по йоду, %, не меньше	60
Сумарный объём пор по воде, см ³ /г, не меньше	1,8
Объёмная плотность, г/дм ³ , не больше	245
Массовая часть золы, %, не больше	4,0
Массовая часть влаги, %, не больше	4,5

Результаты исследований

Важной и необходимой стадией современной переработки является адсорбционная очистка. Этот этап очень важен в подготовке масел для производства продуктов питания (маргарин, майонез), косметической и других жировых продуктов. Классическому отбеливанию подвергаются масла после тщательной гидратации, нейтрализации, промывки, сушки. Задача адсорбционной очистки заключается в максимальном выделении из масла красящих веществ, остатков фосфолипидов, натриевых мыл, жирных кислот и производных металлов [3].

Отбеливание – это последний этап, при котором возможно удаление фосфолипидов, которые не поддаются гидратации. Даже незначительное содержание фосфора (уровень $4 \cdot 10^{-4}\%$) перед тем, как процессами дезодорации и гидратации может привести к ухудшению вкуса, потемнению масла и отравлениям. Остаточные мыла, также удаляются в результате адсорбции, так как на стадии дезодорации и гидрогенизации могут отрицательно повлиять на вкус и стабильность готовой продукции. Удаление первичных продуктов окисления во время отбеливания важно для получения дезодорированного масла высокого качества.

Выбор адсорбента зависит главным образом от трех факторов: стоимости, активности и потерь масла. Количество адсорбента необходимое для этого процесса зависит от активности и физико-химических характеристик адсорбента, типа и цвета необработанного масла, желательного цвета отбеленного масла а также от рабочих параметров процесса. Ввиду отсутствия в Украине качественных адсорбентов масложировые предприятия вынуждены либо отказаться от адсорбционной очистки масел и жиров, что неизбежно приводит к ухудшению качества готового продукта, или жира либо сталкиваются с необходимостью самостоятельного поиска или приобретения импортных адсорбентов [1].

Предыдущие исследования показали, что первоначальное рафинированное подсолнечное масло имеет кислотное число 0,81 мгКОН/г, и пероксидное – 9,3 ммоль/кг 1/2O, цветное – 9 мг J2. Далее провели серию экспериментов с адсорбционной очисткой рафинированного подсолнечного масла с абсорбентами, полученными из лузги подсолнечника с нанотрубками после пиролиза. Основные технологические параметры очистки адсорбционной очистки в лабораторных условиях для всех

експериментів були однаковими: маса порції масла – 100г; норма введеного адсорбента – 1,0 %; температура процесу – 85 °С; остаточне тиск – 2,7–9,7 кПа; тривалість процесу – від 15 до 30 хв. Адсорбційна очистка проводилась при перемішуванні магнітної мешалкою (n = 170 об/хв) і в середі інертного газу.

Таблиця 2 – Якіснісні та кількісні показателі рослинного масла

Найменування об'єкта, показателі	Кислотне число, мг КОН	Масова частка вологи і летучих речовин, %	Перекисне число, ммоль ½О/кг	Цвітне число, мг йода	Склад вітамінів	
					Каротин	Вітамін Е
Дезодороване підсонячне масло	0,81	0,12	9,3	9	0,58	101,0

Як видно з таблиці 3 рівень токсичних домішок при дії вуглеводородного адсорбента з лузги насін підсонячника і нанотрубок зменшався.

Окислювальна стійкість масла є важливим показником якості, тому проведено дослідження окислювальної стійкості зразків продукції по розробленій технології адсорбції в порівнянні з дезодорованим підсонячним маслом якості контролю. При дослідженні окислювальної стійкості зразків масла в залежності від температури ініційованого окислення (70–75 °С) було показано, що час окислювальної стійкості масла, збільшувалося на 55 хв, причому швидкість дифузії кисню в одиницю часу зменшувалася в 1,5 рази (табл. 3).

Таблиця 3 – Вплив адсорбента на показателі окислювальної стійкості масла

Отбілене підсонячне масло			Підсонячне масло, контроль		
Перекисне число, ммоль ½О/кг	Анізидинове число, ед	Степень окисленості	Перекисне число, ммоль ½О/кг	Анізидинове число, ед	Степень окисленості
Час зберігання 3 днів					
0,5	0,7	1,7	0,98	0,7	1,9
Час зберігання 50 днів					
0,6	1,0	2,2	0,9	1,2	3,0
Час зберігання 80 днів					
0,9	1,5	3,3	1,6	2,0	4,2
Час зберігання 120 днів					
1,7	2,4	5,6	3,0	2,5	8,5

Применение адсорбента из лузги и нанотрубок снижало уровень перекисидации, анизидиновое число и степень окисленности масла. Уровень полиароматических углеводов обработанном адсорбентом масле также снижался до нормативных значений (табл. 4).

Таблица 4 – Содержание полиароматических углеводов в масле до и после адсорбции

Наименование полиароматического углеводов	Вміст ПАВ, мг/кг	
	Начальное масло	Отбельное масло
Бенз(а)пирен	2,78	1,48
Бенз(а)антрацен	3,72	1,84
Бенз(в)флуорантрен	2,94	2,17
Сума ПАВ	9,44	5,49

Полученные данные свидетельствуют о том, что содержание полиароматических углеводов в начальном масле превышает пределы, установленные по ограничению бензо(а)пирена – 2,78 мг/кг против стандартных 2,0 мг/кг, и по сумме ПАВ: 9,44 мг/кг (в сумму ПАВ входят не все полиароматические углеводороды), что превышает стандарт для растительных масел. В отбеленном подсолнечном масле показатели содержания бензо(а)пирена – 1,48 мг/кг и количество ПАВ-5,49 мг/кг соответствуют установленным стандартам.

Выводы

Таким образом, использование углесодержащего адсорбента из лузги семян подсолнечника и нанотрубок в процессе адсорбционной чистки обеспечивает необходимую степень извлечения полиароматических углеводов из подсолнечного масла, приводит к снижению показателей снижающих его качество и безопасность.

Литература

1. Фіалковська Л.В. Адсорбційна очистка соняшникової олії : автореферат дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн., наук: 05.18.06.– Харків, 1997. – 7 с.
2. Moret S. Processing Effects on The Polyaromat Hydrocarbon Content of Grapeseed Oil // aocs, 2000. – vol. 77. – №12. – P. 1289–1292.
3. Н.В. Paterson. Bleaching and Purifying Fats and Oils: theory and practice / Материали научно-практич. семинара «Современные аспекты переработки масел и жиров. – Винница: М.П.«Инвент Лтд», 2002. – С. 51–54.
4. Ф. Велдкамп, С. Домина. Новые технологии фильтрации отбельного масла / Масла и жиры, 2008.– №9. – с. 6–7; №10. – с. 28–30.
5. Паронян В.Х. Технология жиров и жирозаменителей. – М. : Делипринт, – 2006. – 760 с.
6. Отбеливание масел и жиров: опыт фирмы Альфа Лаваль // масла и жира, 2003. – №3(13). – С. 5–6.
7. Е.М. Камышан, А.Н. Тырси́на, В.Х. Паронян, Ю.А. Тырсин. Адсорбционная очистка растительных масел // Масложировая промышленность, 2004. №1. – С. 44–45.

8. В. Голодня, Н. Граница, Л. Григорова и др. О содержании бенз(а)пирена в растительных маслах и жирах: история вопроса, регламентации, методика // *Масла и жиры*, 2013.– №5–6. – С. 6–11.
9. Арутюнян Н.С., Аришева Е.А., Янова Л.И., Захарова И.И., Меламуд Н.А. *Технология переработки жиров.*– М., Агропромиздат, 1985.– 368 с.
10. Олія соняшникова. Технічні умови: ДСТУ 4492:2005.– Київ: Держспоживстандарт України, 2006.
11. Олії. Методи визначення колірного числа: ДСТУ 4350:2006. – Київ: Держспоживстандарт України, 2005. Олії. Методи визначення кислотного числа: ДСТУ 4350:2004. – Київ: Держспоживстандарт України, 2008. – 12 с.
12. Продукти харчові. Методи визначення масової частки бенз(а)пірену: ДСТУ 4689:2006. – Київ: Держспоживстандарт України.
13. Н.А. Меламуд. Содержание диоксинов и полиароматических углеводородов в отбельной земле // Balenoric L., Petrovic I., Perkovas m., Determinstion of Polycyclic aromatic Hydrocarbons in Vegetable Oils // *Proc. Of Euro Food Chemistry VIII*, 1995. – vol. 2. – P. 275–281.
14. Великий П.С., Домина Р.Г. Новые технологии фильтрации отбельного масла // *Масла и жиры*, 2005.– №3(49).– С. 14–17.

Bibliography (transliterated)

1. Flalkovska L.V. Adsorbtslyna ochistka sonyashnikovoyi oliyi : avtoreferat dis. na zdobuttya naukovogo stupenya kand. tehn., nauk: 05.18.06.– Harkiv, 1997. – 7 p.
2. Moret S. Processing Effects on The Polyaromat Hydrocarbon Content of Grapeseed Oil. *aocs*, 2000. – vol. 77. – #12. – P. 1289–1292.
3. Н.В. Paterson. Bleaching and Purifying Fats and Oils: theory and practice. *Materialyi nauchno-praktich. seminaru «Sovremennyye aspektyi pererabotki masel i zhirov.* – Vinnytsa: M.P.«Invent Ltd», 2002. – P. 51–54.
4. F. Veldkamp, S. Domina. Novyye tehnologii filtratsii otbelnogo masla. *Masla i zhiry*, 2008.– #9. – p. 6–7; #10. – p. 28–30.
5. Paronyan V.H. *Tehnologiya zhirov i zhirozameniteley.* – М. : Deliprint, – 2006. – 760 p.
6. Otbelivanie masel i zhirov: opyt firmy Alfa Laval. *masla i zhira*, 2003. – #3(13). – P. 5–6.
7. E.M. Kamyishan, A.N. Tyirsina, V.H. Paronyan, Yu.A. Tyirsin. Adsorbtsionnaya ochistka rastitelnykh masel. *Maslozhirovaya promyshlennost*, 2004. #1. – P. 44–45.
8. V. Golodnya, N. Granitsa, L. Grigorova i dr. O soderzhanii benz(a)pirena v rastitelnykh maslah i zhirah: istoriya voprosa, reglamentatsii, metodika. *Masla i zhiry*, 2013.– #5–6. – P. 6–11.
9. Arutyunyan N.S., Arisheva E.A., Yanova L.I., Zaharova I.I., Melamud N.A. *Tehnologiya pererabotki zhirov.*– М., Agropromizdat, 1985.– 368 p.
10. Oliya sonyashnikova. Tehnichni umovi: DSTU 4492:2005.– Kiyiv: Derzhspozhivstandart Ukrayini, 2006.
11. Oliyi. Metodi viznachennya kolirnogo chisla: DSTU 4350:2006. – Kiyiv: Derzhspozhivstandart Ukrayini, 2005. Oliyi. Metodi viznachennya kislotnogo chisla: DSTU 4350:2004. – Kiyiv: Derzhspozhivstandart Ukrayini, 2008. – 12 p.
12. Produkti harchovi. Metodi viznachennya masovoyi chastki benz(a)pirenu: DSTU 4689:2006. – Kiyiv: Derzhspozhivstandart Ukrayini.

13. N.A. Melamud. Soderzhanie dioksinov i poliaromaticeskikh uglevodorodov v otbelnoy zemle. Balenoric L., Petrovic I., Perkovas m., Determination of Polycyclic aromatic Hydrocarbons in Vegetable Oils. Proc. Of Euro Food Chemistry VIII, 1995. – vol. 2. – P. 275–281.

14. Velikiy P.S., Domina R.G. Novyie tehnologii filtratsii otbelnogo masla. Masla i zhiryi, 2005.– #3(49).– P. 14–17.

УДК 669.187.001.2

Алалі Мусана, Кричковська Л.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ АДСОРБЕНТУ З ВІДХОДІВ АПК ТА НАНОТРУБОК ДЛЯ РАФІНАЦІЇ РОСЛИННИХ ОЛІЙ

Ціллю дослідження було визначення ефективного адсорбенту, що забезпечував би найвищий ступінь виводу перекисних сполук та бензпірену із соняшникової олії. У технології рафінації соняшникової олії особливе місце займає адсорбційне очищення, котре дозволяє значно знизити вміщення розчинених в олії речовин: пігментів, восків, залишків фосфоліпідів, а також мил, продуктів окиснення (первинних та вторинних), йонів металів і тим самим значно збільшити якість олії та покращати його подальшу обробку. Ефективність адсорбційного очищення визначається вибором адсорбенту, яких в Україні до цих пір недостатньо, тому робота присвячена розробці адсорбенту на основі відходів переробки насіння соняшника – його лузги. Сировина з відходів проходить як і нанотрубки стадію піролізу. Цей вуглецевміщуючий продукт досліджувався в якості адсорбенту для підвищення якості олії.

Alali Musana, Krichkovskaya L.V.

THE CHOOSING OF ADSORBENT FROM AGRICULTURAL WASTES AND NANOTUBES FOR VEGETABLE OILS SAFETY

The aim of this investigation is to find the most effective adsorbent that provides the highest level of removal the peroxide compounds and benzopyrene from sunflower oil using the surfactants.

In the technology of sun flower oil refining the particular place is allocated for the absorption refining that lets considerably decrease the content of substances are soluble in the vegetable oils – pigments, waxes, the rests of phospholipids, soaps and oxidation products (primary and secondary ones), metal ions as well, and in such a way increase considerably the oil quality and improve its subsequent refinement.

The effectiveness of refinement by absorption is determined with choice of the adsorbent in considerable extent, but such a choice is not sufficient in Ukraine, and that because this study is dedicated to the adsorbent development on the base of sun flower seeds wastes left after their treatment – their shells. The raw materials of these wastes will be exposed to the pyrolysis stage similar to the nanotubes obtained from coke pyrolysis. This carbon – containing product has been tested as adsorbent in order to increase the quality of sunflower oil.

УДК 66.074:661

Лаврова І.О., Аммар Валід Саїд, Владимиренко В.В., Сорокотяга К.М.

АПАРАТУРНЕ ОФОРМЛЕННЯ ПРОЦЕСУ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ НАФТОВИХ ФРАКЦІЙ ТА ДИСТИЛЯТІВ

Вступ. Попри те, що на цей час фізико-хімічні механізми кавітаційної обробки нафтопродуктів та сумішей на їх основі ще не достатньо вивчені, в широкій промисловій практиці кавітатори знаходять все більше використання, а результати їх впровадження більш ніж позитивні.

Метою дослідження було виявлення оптимальних параметрів роботи гідродинамічного роторно-кавітаційного пристрою нової конструкції для використання останнього у процесах обробки нафтових сумішей та приготування композитних палив.

Більшість реальних рідких систем відносяться до неньютоновських рідин, які мають складну будову й тією чи іншою мірою структуровані. Структура таких рідин порушується при відхиленні від стану рівноваги, а їхні властивості залежать від величини прикладених зусиль, швидкості деформації й виражаються реологічними рівняннями.

Гідродинамічні явища, що виникають під час обертання пристроїв, що перемішують, становлять основу процесів перемішування в рідких середовищах. Останнім часом запропоновано багато математичних моделей, що описують явища, які відбуваються. Однак визначення коефіцієнта математичних моделей вимагає емпіричного пошуку, що перешкоджає встановленню меж застосованості моделей і можливості масштабування процесів [1–3].

Для інтенсифікації процесів змішування й емульгування в ємнісних апаратах, використовуваних для готування ряду рідин, додатково встановлюють занурені апарати роторно-пульсаційного принципу дії різних типів.

Застосування механічних коливань має деякі відмінні риси в порівнянні з використанням активних гідродинамічних режимів. Збільшення інтенсивності перемішування не завжди приводить до помітного збільшення важливої для масообміну відносної швидкості руху фаз. У полі ж механічних коливань у наслідок прояву інерційних властивостей відносна швидкість переміщення фаз зростає більш істотно, що приводить до додаткового зниження товщини прикордонних шарів і до інтенсифікації масопереносу (особливо зовнішньої дифузії), крім того пульсаційні явища в деякій мірі можуть збільшити й швидкість процесів переносу в капілярах і порах твердих часток. Остання обставина є важливим чинником підвищення швидкості процесів екстрагування з матеріалів пористої структури [4–6].

Закономірності роботи роторно-пульсаційних апаратів або кавітаторів багато в чому визначаються конструкцією їхніх робочих органів. Основною конструктивною ознакою апаратів роторно-пульсаційного типу є наявність нерухомих й обертових (або обертових з різними кутовими швидкостями) соосно встановлених тіл з перфорацією у вигляді прорізів або отворів, через які проходить оброблюване середовище. При цьому такий пристрій може бути безпосередньо занурено в ємність з компонентами середовища або встановлено в окремому корпусі, через який циркулює оброблюване середовище.

Типовий апарат роторно-пульсаційного типу складається з ротора і статора, розміщених у корпусі і виконаних у вигляді коаксіальних циліндрів, що чергуються, із

прорізами (отворами) або у вигляді концентрично розташованих зубів. У внутрішній зоні ротора можуть бути встановлені лопати або ножі, що забезпечують здрібнювання (різання) великих фракцій дисперсної фази поліпшуючі умови перемішування й транспортування оброблюваного середовища, що надходить, як правило у вхідний патрубок і видаляється після обробки через вихідний патрубок. Апарати заглибного типу, що розміщують безпосередньо в ємність із оброблюваним середовищем, вхідного й вихідного патрубоків не мають [1,5].

Апарат роторно-пульсаційного типу наведений на рис. 1. Він містить корпус з впускним і випускним отворами, статор у вигляді набору перших концентричних циліндрів з активаційними елементами, кожна пара з яких утворює концентричний зазор, та встановлений на приводному валу дископодібний ротор у вигляді набору інших концентричних циліндрів з активаційними елементами, які входять у зазори між першими концентричними циліндрами статора. При цьому активаційні елементи кожного концентричного циліндра статора і ротора виконані у вигляді періодично розташованих отворів. Середовище, яке підлягає обробці, надходить крізь впускний отвір 2 у середину корпусу 1. При цьому середовище під дією вхідного тиску перетікає крізь активаційні елементи, виконані в концентричних циліндрах 5 статора 4 у середину ротора 7, якому надається обертовий рух завдяки обертам приводного вала 6. При періодичному співпадинні отворів у концентричних циліндрах 5 і 8 ротора 7 та статора 4 відбувається зміна швидкості і тиску плина середовища, яка ініціює кавітаційні процеси. 9 – крильчатка.

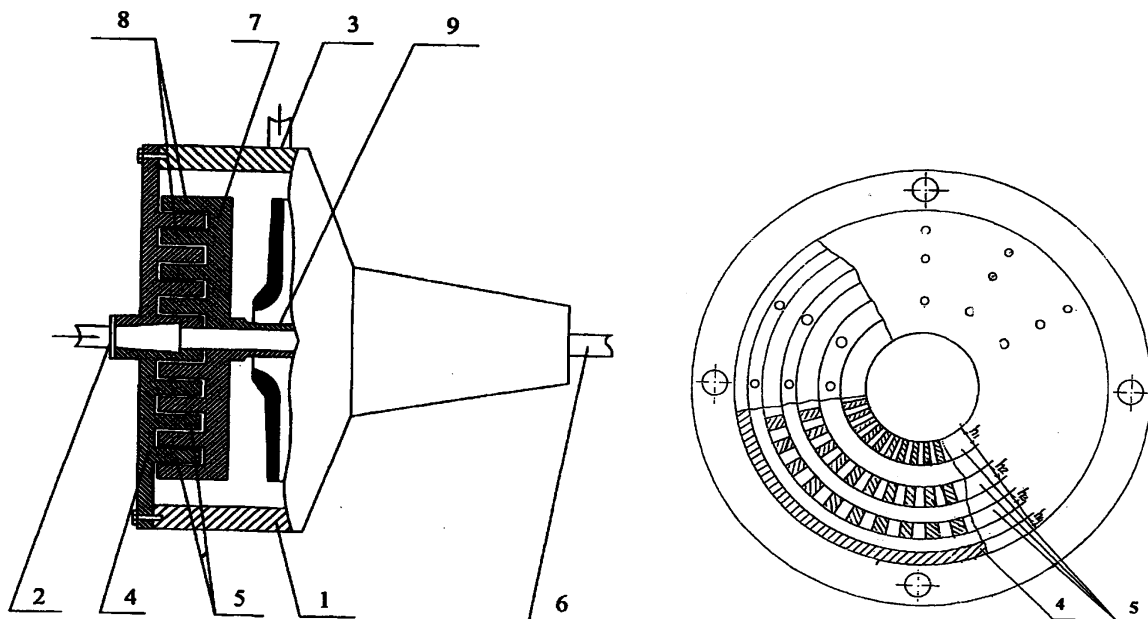


Рисунок 1

При роботі апарату відзначається інтенсивний механічний вплив на частки дисперсної фази, ефективна турбулізація й пульсації потоку, що виникають за рахунок періодичної зміни прохідного перетину потоку. Таким чином, у цьому пристрої одночасно здійснюються принципи роботи роторних змішувачів, дезінтеграторів і дисмембраторів, відцентрових і вихрових насосів, колоїдних млинів і рідинних сирен радикального типу.

У таких апаратах характерною рисою є чергування нерухомих й обертових елементів з розміром прорізів (проміжків між зубами) менше або порівняним з розмірами зубів (пальців). Ця відмінність приводить до посилення ролі пульсаційних явищ і наближає ці пристрої до рідинних сирен з тією особливістю, що робоче тіло являє собою оброблюване середовище. У РПА для підвищення технологічної ефективності застосовують кілька нерухомих й обертових циліндрів, що чергуються із прорізами. При цьому геометрія й число прорізів на кожному щаблі можуть бути різними.

Безпосереднє спостереження через прозору кришку апарату в імпульсному висвітленні показало, що в робочій зоні РПА має місце складний комплекс різних гідродинамічних явищ у тому числі високоградієнтний плин у зазорі між обертовими й нерухомими елементами конструкції, інтенсивна турбулізація потоку, насосний ефект, різнонаправлене поле швидкостей, вихреподібне, кавітація, пульсації потоку за рахунок зміни прохідного перетину й ін. найбільш активне в гідродинамічному відношенні простір – зазор між ротором і статором і прилягаючі до нього зони прорізів.

При обертанні ротора швидкість рідини в радіальному зазорі між ротором і статором різко змінюється від окружної швидкості ротора до нуля в поверхні статора.

Взаємодія окружного й радіального потоку з елементами статора приводить до зміни напрямку обертання потоку після проходження прорізів статора. У зоні зміни напрямку потоку можливо таке утворення стійких вихрів і зон кавітації. У центрі такого вихру можуть утримуватися значний час (кілька десятків періодів) дисперсні частки, які обертаються в напрямку обертання вихрячи. Вихреутворення також має місце при взаємодії потоку з гострими поверхнями робочих елементів ротора й статора.

Високоградієнтний плин має складну несталу вдачу, що залежить від реологічних властивостей рідини, геометрії апарату й кутової швидкості потоку. Проте при невеликій ширині прорізів, малих радіальних швидкостях і зазорах рух густої рідини в кільцевому просторі (зазорі) апарату може бути приблизно розглянуте як сталий ізотермічний плин між двома гладкостінними коаксіальними циліндрами, один із яких обертається з постійною кутовою швидкістю. Перфорація циліндрів ротора й статора може бути різною: у вигляді прорізів, отворів круглої або овальної форми, з рифленням на циліндричній поверхні у вигляді накатки або насічки, а також з рифленням на стінках прорізу, у вигляді прорізів з гострими крайками, отриманих шляхом свердління з наступною проточкою. Проміжки між прорізами можуть мати скошені плоскі поверхні, а деякі циліндри можуть бути виконані без перфорації.

Ширина прорізів у стінках обертового і нерухомого циліндрів першого(внутрішнього) щабля визначається з можливостей виготовлення й умов надійної роботи, що унеможлиблює забивання апарата. Для цього необхідно, щоб ширина прорізів у першому щаблі приблизно в 1,5 рази або більше перевершувала максимальний розмір оброблюваних часток або можливих включень. У наступних щаблях у результаті диспергування часток ширина прорізів, як правило, зменшується при збільшенні їхньої кількості. При цьому робоча висота прорізів приймається рівною $(0,1-0,25)$ – зовнішній діаметр циліндра.

При обробці середовищ невисокої в'язкості циркуляція середовища через апарат здійснюється за рахунок його власної насосної дії. При обробці середовищ підвищеної в'язкості й з високим вмістом твердої фази додаткове перемішування в

завантажувальній ємності необхідно, а на вході в РПА повинен бути встановлений додатковий насос. [7,8].

Кавітаційна обробка проводилася у роторно-пульсаційному апараті при різних частотах обертання ротора. Спрощена схема експериментальної установки показана на рисунку 2.

Досліджувана нафта з добавками води завантажується через патрубок 4. У включеному режимі нафта циркулює по контуру «ємність 1 – кавітатор 2», Роторно-пульсаційний кавітатор створює розрідження на входному патрубку, тобто сам працює в насосному режимі.

Для досліджуваних проб з 5, 10 і 15 % добавками води частота обертання ротора задавалася в одному випадку 3000 об/хв (Проби П1, П2, П3), а у другому – 5600 об/хв (Проби П5, П6, П7).

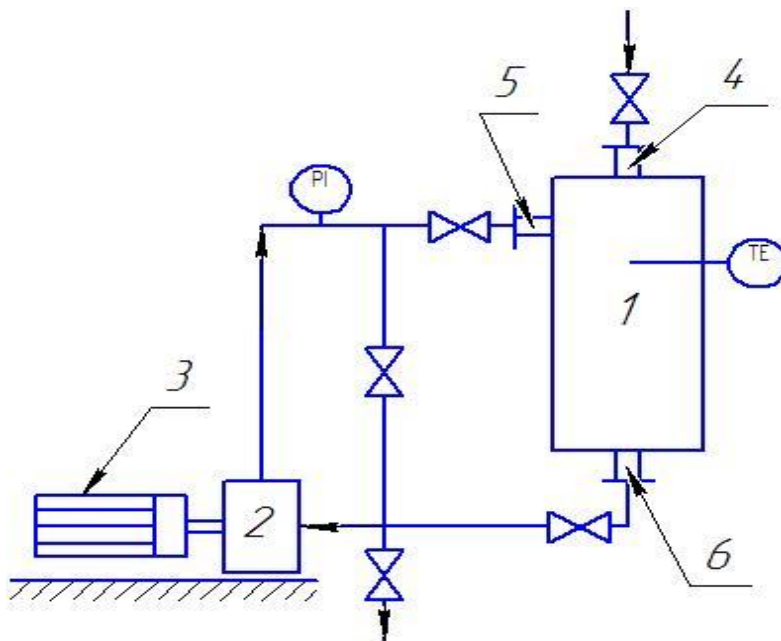


Рисунок 2 – Принципова схема кавітаційної установки
1 – ємність; 2 – роторно-пульсаційний кавітатор; 3 – електродвигун потужністю 4 кВт;
4, 5, 6 – патрубки

Як було показано на попередніх етапах дослідження [8,9], в гідродинамічних кавітаторах роторно-пульсаційного типу реалізується гідродинамічний та акустичне дію на рідину за рахунок розвинутої турбулентності, пульсацій тиску і швидкості потоку рідини, інтенсивної кавітації, ударних хвиль і вторинних нелінійних акустичних ефектів. Нормуючий параметр в процесі обробки – досягнення оброблюваної середовищем температури 85 °С. Вимірювання температури проводилося термомпарою ХА, яка встановлена в ємності 1. Відбір проб емульсії з установки проводився при досягненні температури нафти 40 °С.

Результати досліджень по впливу добавок води і різних режимів кавітації на властивості одержуваних нафтопродуктів представлені в табл. 1. У кожному з експериментів нафта після кавітаційної обробки перед проведенням вимірювань і фракційних перегонів зневоднювалася.

Фракційний склад нафти після кавітаційної обробки з різним вмістом води і на різних режимах роботи кавітатора представлений в табл. 2.

Таблиця 1 – Результати вимірювання кінематичної в'язкості

Досліджувана проба	Кінематична в'язкість, мм ² /с
Вихідна нафта	3,18259
П1 – Нафта з 5 % води (частота обертання ротора 3000 /хв)	3,752
П2 – Нафта з 10 % води (частота обертання ротора 3000 /хв)	3,438
П3 – Нафта з 15 % води (частота обертання ротора 3000 /хв)	3,468
П4 – Нафта з 5 % води (частота обертання ротора 5600 /хв)	3,34
П5 – Нафта з 10 % води (частота обертання ротора 5600 /хв)	3,386
П6 – Нафта з 15 % води (частота обертання ротора 5600 /хв)	3,38

Таблиця 2 – Результати фракціонування нафти після кавітаційної обробки

Кількість нафтопродуктів, % (об.)	Температура, °С					
	П1	П2	П3	П4	П5	П6
Початок кипіння	82	83	86	70	73	83
5	96	105	105	104	97	103
10	111	118	119	117	113	116
20	136	142	141	143	139	142
30	161	168	166	175	165	165
40	194	198	198	207	198	197
50	223	235	238	247	237	235
60	270	264	268	281	274	274
70	310	314	310	318	313	319
80	345	344	347	348	320	345
90	350	347	357	360	371	357
Кінець кипіння	350	351	357	370	371	357
Залишок, мл	2,5	2	2,5	2	1,1	2,4
Втрати, мл	0,5	0,1	0,1	1	1,4	2,1

Висновки

Таким чином, узагальнюючи отримані результати, можна зробити висновок, що кавітаційна обробка є вибіркоким (селективним) процесом, який має більший вплив на важкі молекули мазуту і дизельного палива, ніж на легкі вуглеводні бензинові. Зміна

в'язкості викликано двома різними механізмами: тимчасовим розривом Ван-дер-Вальсовських сил, які об'єднують молекули та зміною фракційного складу нафти.

Під впливом кавітації великої інтенсивності протягом тривалого часу порушуються С – С зв'язки у молекулах парафіну, внаслідок чого відбуваються зміни фізико-хімічного складу (зменшення молекулярної маси, температури кристалізації і інше) і властивостей нафтопродуктів (в'язкості, щільності, температури спалаху і т.п.). В процесі імпульсної обробки кавітації нафти і нафтопродуктів енергія, яка виділяється при схлопуванні бульбашок, використовується для розриву хімічних зв'язків між атомами великих молекул вуглеводневих сполук.

Енергія дисоціації зв'язків С – Н коливається в залежності від молекулярної маси та структури молекули в межах 322–435 кДж/моль, енергія дисоціації зв'язків С – С – 250–348 кДж/моль. При розриві зв'язків С– Н від вуглеводневої молекули відривається водень, при розриві С – С вуглеводнева молекула розривається на дві частини. При обробці кавітацією вуглеводневої сировини відбувається деструкція молекул, яка викликана мікрокрекінгом молекул і процесами іонізації. У разі обробки ультрадисперсної емульсії «вода-вуглеводень», коли в зоні дії кумулятивних струменів і колапсу кавітаційних бульбашок потрапляють одночасно мікрофракції води вуглеводнів, відбуваються одночасно деструкція води з утворенням водню і крекінг важких вуглеводнів з подальшим гідрогенізацією останніх.

Література

1. Вітенько Т.М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних, хімічних та біологічних процесах [Текст] / Т.М. Вітенько. – Тернопіль: в-во ТДТУ ім. І. Пулюя, 2009. – 224 с.
2. И. Пирсол. Кавитация [Текст] : пер. с англ.– М: «Мир», 1975 – 95 с.
3. Буйвол В.Н. Тонкие каверны в течениях с возмущениями [Текст] / В.Н. Буйвол / К: Наукова думка, 1984. – 296 с.
4. Рождественский В.В. Кавитация [Текст] / В.В. Рождественский. – Л: Судостроение, 1977. – 248 с.
5. Федоткин И.М. Использование кавитации в технологических процессах [Текст] / И.М. Федоткин, А.Ф. Немчин – К : Вища школа, 1984. – 68 с.
6. Геллер С.В. Гидродинамические источники тепла [Текст] / Геллер С.В., Мочалин И.В., Богун О.П. // Нефтегазовое дело, М:– 2006– с. 4–16.
7. Нестеренко С.В. Получение флотореагентов и водотопливных эмульсий на базе сырья и отходов коксохимического и нефтехимического производства нафтопродуктів [Текст] / Нестеренко С.В. Щebetун В.И. // Коммунальное хозяйство городов, Харків:– 2009.– с. 185–194.
8. Лаврова І.О. Дослідження впливу технологічних факторів на ефективність процесу кавітаційної обробки нафтопродуктів [Текст] / І.О. Лаврова, В. Саїд Аммар // Восточно-европейский журнал передових технологий.– Харків.– 2013.– с. 47–51.
9. Лаврова І.О. Обґрунтування методу очищення нафт і нафтових дистиллятів від сполук сірки [Текст] / І.О. Лаврова, В. Саїд Аммар, К.М. Сорочотяга // Вісник НТУ «ХП», Харків: НТУ «ХП».– 2010.– с. 57–61.

Bibliography (transliterated)

1. Vitenko T.M. Gidrodinamichna kavitatsiya u masoobminnih, himichnih ta biologichnih protsesah [Tekst]. T.M. Vitenko. – Ternopil: v-vo TDTU Im. I. Pulyuya, 2009.– 224 p.
2. I. Pirsol. Kavitatsiya [Tekst] : per. s angl.– M: «Mir», 1975 – 95 p.
3. Buyvol V.N. Tonkie kavernyi v techeniyah s vozmuscheniyami [Tekst]. V.N. Buyvol. K: Naukova dumka, 1984. – 296 p.
4. Rozhdestvenskiy V.V. Kavitatsiya [Tekst]. V.V. Rozhdestvenskiy. – L: Sudostroenie, 1977. – 248 p.
5. Fedotkin I.M. Ispolzovanie kavitatsii v tehnologicheskikh protsessah [Tekst]. I.M. Fedotkin, A.F. Nemchin – K : Vischa shkola, 1984. – 68 p.
6. Geller S.V. Gidrodinamicheskie istochniki tepla [Tekst]. Geller S.V., Mochalin I.V., Bogun O.P. Neftegazovoe delo, M:– 2006– P. 4–16.
7. Nesterenko S.V. Poluchenie flotoreagentov i vodotoplivnyih emulsiy na baze syirya i othodov koksohimicheskogo i neftehimicheskogo proizvodstva naftoproduktiv [Tekst]. Nesterenko S.V. Schebetun V.I. Kommunalnoe hozyaystvo gorodov, Harkiv:– 2009.– P. 185–194.
8. Lavrova I.O. Doslidzhennya vplivu tehnologichnih faktoriv na efektyvnist protsesu kavitatsiynoyi obrobki naftoproduktiv [Tekst] / I.O. Lavrova, V. Sayid Ammar // Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovih tehnologiy.– Harkiv.– 2013.– P. 47–51.
9. Lavrova I.O. Obgruntuvannya metodu ochischennya naft i naftovih distillyativ vid spoluk sirki [Tekst] / I.O. Lavrova, V. Sayid Ammar, K.M. Sorokotyaga. Visnik NTU «HPI», Harkiv: NTU «HPI».– 2010.– P. 57–61.

УДК 66.074:661

Лаврова И.О., Аммар Валид Саид, Владимиренко В.В., Сорокотяга К.М.

АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССА КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ ФРАКЦИЙ И ДИСТИЛЛЯТОВ

Проведены экспериментальные исследования по обработке сырой нефти в роторных кавитаторах. Показано, что на эффективность процесса гидрогенизации сырой нефти и эмульсии «сырая нефть-вода» оказывают влияние режимы кавитационной обработки, температура обработки жидкости и количество добавляемой воды в качестве активатора процессов гидрогенизации. Подтверждено, что при гидрокавитационной обработке эмульсии «углеводород-вода» происходит микрокрекинг молекул нефти и возможна диссоциация воды с образованием водорода с последующими процессами гидрогенизации тяжелых фракций.

Lavrova I.O., Ammar Waleed Saeed, Vladimirenko V.V., Sorokotjaga K.M.

HARDWARE DESIGN PROCESS OF CAVITATION TREATMENT OF PETROLEUM FRACTIONS AND DISTILLATES

Experimental studies on the processing of crude oil in the rotary cavitator . It is shown that the efficiency of the process of hydrogenation of crude oil and emulsions "crude oil-water influence of the modes of cavitation treatment, the temperature of the processing liquid and the amount of water added as an activator in the processes of hydrogenation.

It is confirmed that when the hydro-cavitation processing of the emulsion, the hydro-carbon-water" occur microcracking molecules of oil and possible dissociation of water to form hydrogen with subsequent hydrogenation of heavy fractions.

УДК 664:665.1/7:539:542/543

Левчук І.В., Кіщенко В.А., Тимченко В.К., Куниця К.В.

**АМАРАНТОВА ОЛІЯ – ЯКІСТЬ ТА БЕЗПЕЧНІСТЬ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ
ЯК БІОЛОГІЧНО АКТИВНОЇ ДОБАВКИ**

Вступ. Амарант – це культура, яка останнім часом привертає до себе величезну увагу вчених. Проведені дослідження виявили великий потенціал для використання амаранту не тільки для профілактики, але і для лікування найрізноманітніших захворювань. Амарант, однорічна рослина, любить тепло і світло, має щільні колосовидні суцвіття, і вони ніколи не в'януть, листя бувають різного кольору: жовтого, червоного, зеленого. Унікальність цієї рослини полягає в тому, що вона дуже поживна і всі частини є їстівними. У Південній Америці насіння цієї рослини протягом багатьох століть входило в їжу ацтеків.

В амаранті міститься велика кількість біологічно активних речовин, необхідних людському організму для нормальної життєдіяльності. Амарантову олію отримують шляхом холодного віджиму з насіння амаранту, і воно є найціннішим джерелом здоров'я і довголіття, оскільки саме в олії містяться всі найпотрібніші елементи.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Одним із шляхів вирішення проблеми здоров'я та харчування населення є виробництво і широке використання якісних і безпечних рослинних олій з гарантованим вмістом поліненасичених жирних кислот, вітамінів, фітостеринів та інших життєво-необхідних для організму людини біологічно-активних сполук [1, 2]. Амарант багатий поліненасиченими жирними кислотами (ПНЖК): не вельми замінними – ліолевою і ліоленовою, а також замінними – олеїновою, стеариною, пальмітиновою. Абсолютно незамінною є тільки ліолева кислота, її вміст становить 77 %, а всі інші ПНЖК, при нормальному функціонуванні організму можуть синтезуватися з ліолевої, зокрема, арахідонова кислота, з якої, в свою чергу, утворюються простагландини. Але абсолютно здорова людина у наш час зустрічається вкрай рідко, тому дієтологи незамінними вважають обидві кислоти. При нехватці ПНЖК в організмі відбувається порушення обміну речовин, хоча це не відразу і помітно. Поліненасичені жирні кислоти відіграють важливу роль у формуванні та функціонуванні клітинних мембран, тому жодна клітина в нашому організмі не може функціонувати при їх нестачі. До складу амарантової олії входять серотонін, жовчні кислоти, холін, ксантини, стероїди, вітаміни групи В, вітамін Е в рідкісній і легко засвоюваній формі токотрієна, вітамін Д, пантотенова кислота та ін. Протеїни, що містяться в амарантовій олії, за амінокислотним складом найбільш наближені за теоретичним розрахунком до ідеального білку, і прирівнюються до жіночого молока. Кількість лізину, незамінної амінокислоти, на багато вище, ніж в інших рослинах, або їх екстрактах, а при недостатку цієї амінокислоти їжа не засвоюється організмом і проходить транзитом через кишківник.

Спеціальними дослідженнями було доведено, що сквален є природним складової шкіри людини і перебуває у сальних залозах. Це викликало справжній бум у косметології та в дерматології, оскільки сквален має унікальні ранозагоювальні властивості. Якщо змастити шкіру амарантовою олією перед радіаційною терапією, то дозу радіації можна збільшити. Вживання амарантової олії до сеансу радіаційної

терапії, а так само після неї прискорюють відновлення органів і систем за рахунок активації відновних процесів в тканинах і органах.

Амарантова олія є потужним засобом оздоровлення, профілактики та лікування. Вона діє на весь організм, відроджує його захисні властивості, нормалізує обмін речовин, знижує рівень холестерину в організмі людини, покращує роботу печінки, серця, відновлює діяльність гормональної та імунної системи, виводить з організму шлаки, і підсилює лікувальну дію багатьох лікарських препаратів.

Переваги використання рослинної олії для корекції нестачі фізіологічно-функціональних інгредієнтів перед лікарськими препаратами, що їх містять, полягає в тому, що рослинна олія є традиційним харчовим продуктом, який не дає ускладнень і побічних реакцій в організмі. Харчова цінність і біологічні властивості рослинних олій не обмежуються лише жирнокислотним складом. Велике значення має вміст в олії супутніх речовин, серед яких особлива роль належить антиоксидантам – токоферолам, каротиноїдам і фітостеринам. Перспективними джерелами нетрадиційної сировини в цьому відношенні є насіння льону, рижию, конопель, волоські горіхи, зародки пшениці, амарант [2–4].

Амарант (від грецьк. – вічний, нев'янучий) – звертає на себе увагу дослідників та практиків сільського господарства та харчової промисловості багатством та збалансованістю білка, високою врожайністю, підвищеним складом вітамінів, мінеральних солей. Насіння амаранту містить в середньому 15–47 % білку, 5–8 % олії та 3,7–5,7 % клітковини – більше, ніж в більшості зернових культур [5, 6]. Фізико-хімічний склад насіння амаранту, як і інших олійних культур, залежить від видової приналежності, кольоровості насіння, кліматичних умов вирощування. Вміст олії в світлому насінні складає 7,53–9,71 %, а в темному – 5,81–6,81 % [7]. Самим активним і важливим компонентом амарантової олії є сквален. З усіх рослинних олій тільки амарантова олія містить його до 12 % [8]. Маслинова олія містить 0,7 % сквалену, олія з рисових висівок – 0,3 %, з пшеничних зародків й кукурудзяна – 0,1 %.

Сквален $C_{30}H_{50}$ – природний ациклічний тритерпен з шістьма подвійними зв'язками, а саме: 2,6,10,15,19,23-гексаметил – 2,6,10,14,18,22-тетракозагексаєн.

Хімічний склад амарантової олії відрізняється в залежності від виробника та способу отримання (пресовий, екстракційний, флюїдна екстракція).

Сквален використовується у різних галузях фармацевтичної, парфумерної й косметичної промисловості. Поєднання протипухлинних, протизапальних, антибактеріальних, кровоспиняючих та сечогінних якостей амарантової олії значно підвищує ефект лікарської терапії онкологічних, токсико-інфекційних та інших захворювань. Амарантова олія добре поєднується з будь-яким медикаментозним лікуванням, знижує побічні ефекти активної терапії (хіміо- та радіотерапія), зменшує прояви токсикозів, відновлює роботу клітин та епітелію, залоз внутрішньої секреції, кровоносної системи, попереджує розвиток ерозійних процесів [9].

Амарантова олія в поєднанні з олією з зародків пшениці з вмістом сквалену не менш 1000 мг% є могутнім природним антиоксидантом, здатним на клітинному рівні пригнічувати утворення вільних радикалів, знижуючи ризик виникнення онкологічних захворювань та старіння організму.

Сквален захищає організм людини від радіації, перетворюючись у вітамін Д.

В умовах сьогодення важливим є практичне використання амарантової олії у виробництві продуктів дієтичного, лікувально-профілактичного призначення, в технологіях парфумерно-косметичної та олієжирової продукції.

Необхідно зазначити, що у зв'язку з розповсюдженням псевдоамарантових олій та олійних екстрактів («Амарантова олія», «Олія амарантова» тощо) актуальним є здійснення моніторингу, впровадження визначення сквалену у технохімконтролі при дослідженні рослинних і куपाжованих олій.

Питання безпеки харчових продуктів досить складні. Для цього в харчовому ланцюгу повинна використовуватися науково-обґрунтована методика оцінки якості та безпеки продуктів, щоб задовольнити зростаючі потреби споживача.

Тому включення до схем технохімконтролю олієжирової продукції визначення вмісту сквалену з використанням сучасних методів інструментального аналізу є актуальним.

У першу чергу це стосується тих підприємств, які постачають або збираються поставляти власну продукцію на експорт. Тому удосконалення схем технохімічного контролю є актуальним завданням для забезпечення контролю на всіх етапах харчового ланцюга, в будь-якій точці процесу виробництва.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження – розробка науково-обґрунтованого методу визначення сквалену в амарантовій олії.

Задачі дослідження:

- виконати аналіз науково-технічної літератури щодо амарантової олії як біологічно активної добавки;
- експериментально дослідити можливість визначення сквалену методами газорідинної та тонкошарової хроматографії;
- визначити структурні, фізико-хімічні та показники безпеки амарантової олії

Об'єкти та методи дослідження. Амарантова олія холодного пресування (всього 10 зразків). Для дослідження використовували методи газорідинної та тонкошарової хроматографії.

Жирнокислотний склад, склад стерінової фракції та вміст жирних кислот досліджували методом газорідинної хроматографії на газовому хроматографі Hewlett Packard HP-6890 із застосуванням капілярної колонки HP-88 (88%-cyanopropyl aryl-polysiloxane, Agilent Technologies) довжиною 100 м, з внутрішнім діаметром 0,25 мм та товщиною нерухомої фази 0,2 мкм за наступних умов: швидкість потоку газу-носія – 1,2 мл/хв, коефіцієнт поділу потоку – 1:100, температура випаровувача – 280 °С, температура детектора (ПД) – 290 °С, температурний режим колонки – поступовий нагрів від 60 °С до 230 °С.

Для ідентифікації хроматографічних піків та обрахунку хроматограм використовували суміш метилових ефірів жирних кислот 37 Component FAME Mix т.м. Supelco (кат. № 47885-U). Реєстрацію та обробку хроматограм здійснювали за допомогою персонального комп'ютеру, улаштованого програмним забезпеченням HP ChemStation.

Кислотне число визначали за ДСТУ 4350, пероксидне число за ДСТУ 4570, масова частка вітаміну Е за ДСТУ EN 12822.

Визначення бенз[а]пірену проводили методом високоефективної рідинної хроматографії на рідинному хроматографі Agilent 1200 з флуоресцентним детектором відповідно ISO 22959.

Результати дослідження вмісту сквалену в амарантовій олії. Одним з методів встановлення справжності природних жирів є визначення стерінового складу.

Тому для підтвердження справжності амарантової та купажованих олій проведено дослідження як якісного так і кількісного визначення сквалену методом газорідної хроматографії з використанням у якості внутрішнього стандарту сквалану [10].

Для підготовки проб брали наважки зразків олій по 2 г (на вагах Melter Toledo) у колбу ємністю 250 мл.

Омилення проби відбувалось при додаванні 50 мл розчину гідроксиду калію в метанолі. Перед цим додали до проби 2 мл стандартного розчину сквалану та кип'ятили протягом 1 год. По закінченні нагрівання додавали 50 мл бідистильованої води та охолоджували вміст колби.

Після охолодження проводили екстракцію неомилених речовин діетиловим естером (40 мл) у ділильній воронці (це стерини, вищі вуглеводні та спирти, спирти аліфатичного і терпенового ряду та інші органічні речовини, що присутні у продукті, які після омилення їдким калієм та екстракції гексаном залишаються у сухому залишку).

Для видалення розчинника – діетилового естеру – кількісно переносили ефірний розчин з ділильної лійки у колбу (250 мл), лійку промивали діетиловим естером (5 мл) та випаровували розчинник з колби на ротаційному випарнику.

Сухий залишок висушували протягом 15 хв. у сушильній шафі, розчиняли у діетиловому естері (1,0 – 1,5 мл) і переносили кількісно до віали. Залишали на плитці під витяжною шафою до повного випаровування естеру. Процедуру повторювали ще двічі. До одержаного сухого залишку додавали 1 мл розчинника – хлороформу.

Для відокремлення стеринової фракції від інших неомилених речовин використовували метод тонкошарової хроматографії (ТШХ). Пластину проявляли 0,5 % -ним розчином родаміну 6G в етанолі, ідентифікували у світлі УФ-лампи смугу (пляму), що відповідає стеринам, порівнюючи зі смугою стандарту («свідка»). Далі переносили ідентифіковану смугу разом із сорбентом у колбу для фільтрування, додавали 5 мл діетилового естеру, прокип'ятили протягом 15 хв та відфільтровували крізь паперовий фільтр. Процедуру повторили фільтрування з додаванням 5 мл етеру тричі. Розчинник залишали випаруватись з фільтрату, після чого долили 1 мл етеру і перенесли кількісно до віали.

Сквален було ідентифіковано за часом утримання відповідно до часу утримання стандарту (сквалану) [11].

Склад аналізованої суміші кількісно розрахували методом внутрішнього стандарту, який ґрунтується на тому, що до наважки проби додають відому кількість внутрішнього стандарту (сквалану) – сторонньої сполуки, що дає на хроматограмі добре розділений пік (рис. 1, 2).

Результати досліджень деяких показників амарантової олії, отриманої шляхом холодного пресування, наведено в табл. 1.

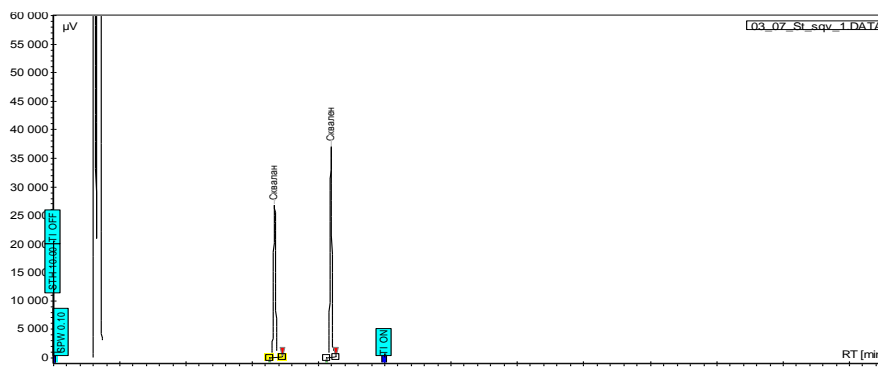


Рисунок 1 – Хроматограма стандартної суміші сквалану і сквалену

Отримані дані при здійсненні моніторингу амарантової олії за вмістом сквалену підтверджують, що метод холодного пресування насіння амаранту надає можливість вилучення сквалену в діапазоні від 5–8 %.

При дослідженні складу жирних кислот амарантової олії встановлено, що вміст ω -3 кислот складає – 0,6 %, ω -6 – 33,3 %, ω -9 – 34 %.

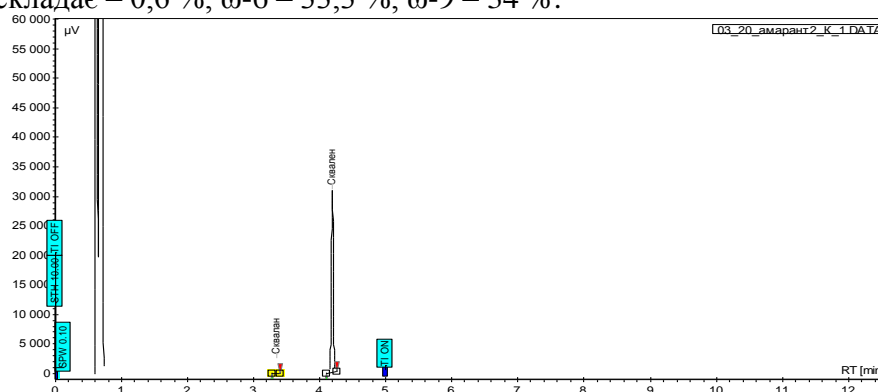


Рисунок 2 – Хроматограма підготовленої проби амарантової олії зі скваленом

Таблиця 1 – Результати дослідження амарантової олії за деякими показниками якості та безпеки

Найменування показників	Результати досліджень	Невизначеність, U (k=2,P=0,95)
Кислотне число, мг КОН/г	0,61	±0,01
Пероксидне число, ммоль/кг ½ O	4,6	±0,1
Масова частка сквалену, %	6,1	±0,49
Масова частка вітаміну E, мг/кг	154	±40
Масова частка бенз(a)пірену, мкг/кг	2,5	±0,38

Зважаючи на сфери використання амарантової олії, доцільним вважається зробити акцент на визначенні показників безпеки.

За результатами даного моніторингу хімічних небезпек виявлено, що в амарантовій олії вміст бенз[a]пірену складає 2,5 мкг/кг, виявлено пестициди з групи фосфорорганічних сполук (хлорпірифос-метил, піриміфос-метил), що можна пояснити використанням технологій сушіння, підсушування та застосування засобів захисту рослин у технології вирощування амаранту. Потребує спеціального дослідження визначення вмісту інших екотоксикантів в амарантовій олії.

Обговорення результатів дослідження вмісту сквалену в амарантовій олії.

Перевагою проведеного дослідження є те, що вони проведені вперше в Україні і є науковим підґрунтям для розробки авторської методики визначення сквалену у амарантовій та купажованих рослинних оліях. Недолік дослідження – відсутність в даній статті конкретних даних щодо вмісту в амарантовій олії пестицидів, поліароматичних речовин та інших екотоксикантів, які на цей час контролюються у рослинних оліях.

Результати даного дослідження будуть використані у розробці сучасних схем технохімічного контролю сировини, технологічного процесу та готової продукції у виробництві амарантової олії, її ідентифікації та фальсифікації.

Висновки:

1. Виконано аналіз науково-технічної літератури та показано, що амарантова олія є цінною біологічно активною добавкою у харчовій, фармацевтичній та парфумерно-косметичній продукції як джерело ПНЖК, вітамінів, сквалену – природного антиоксиданту.

2. Експериментально підтверджено можливість визначення сквалену методами газорідної та тонкошарової хроматографії і створено наукове підґрунтя відповідної методики.

3. Визначено деякі показники складу, якості та безпеки амарантової олії для розробки сучасних схем технохімічного контролю її виробництва.

Література

1. Осейко М.І. Інноваційні технології та безпечність олієжирової продукції / М.І. Осейко, В.А. Кіщенко, І.В. Левчук // Харчова і переробна промисловість. – Вип. 3 (343). – 2008. – С. 22–24.
2. Осейко М.І. Технологія рослинних олій. – К.: ВВ «Варта», 2006. – 280 с.
3. Осейко М.І. Система КТЮЛ: інноваційні технології харчування в оздоровленні особистості / М.І. Осейко / Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі», 20 травня 2009 р., Харків: у 2 ч. – Ч. 1. – Харків: ХДУХТ, 2009.– С. 146–147.
4. Тутельян В.А. Функциональные жировые продукты в структуре питания / В.А. Тутельян, А.П. Нечаев, А.А. Кочеткова // Масложировая промышленность. – 2009. – № 6. – С. 6–9.
5. Кононков П. Ф. Амарант перспективная культура XXI века / П.Ф. Кононков, В.К. Гинс, М.С. Гинс. – М.: Изд-во РУДН, 1999. – 297 с.
6. Чиркова Т.В. Амарант культура XXI века / Т.В. Чиркова // Соросовский образовательный журнал. – № 10. – 1999. – С. 22–27.
7. Камышева И.М. Разработка технологий комплексной переработке семян амаранта на пищевые цели [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеню канд. техн. наук : спец. 05.18.06 «Технологія жирів, ефірних масел і парфумерно-косметичних продуктів» / И.М. Камышева. – СПб, 2000. – 37 с.
8. Кулакова С.Н. Растительные масла нового поколения и их роль в питании / С.Н. Кулакова, Е.В. Викторова // Масла и жиры. – № 67. – 2006. – С. 1–5.
9. <http://www.amarant-aktiv.ru>.

10. Жири та олії тваринні і рослинні. Визначення складу стерінової фракції. Газохроматографічний метод: ДСТУ ISO 6799-2002 [Текст] / Чинний від 2003-04-01. – Київ: Держспоживстандарт України, 2003. – 13 с.

11. Кищенко В.А. Визначення сквалену – унікального фітостерину ліпідів методом газорідинної хроматографії / В.А. Кищенко, І.В. Левчук, М.І. Осейко, О.В. Голубець, О.А. Литвиненко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 11. – С. 137–141.

Bibliography (transliterated)

1. Oseyko M.I. Innovatsiyni tehnologiyi ta bezpechnist oliezhirovoyi produktsiyi. M.I. Oseyko, V.A. Kischenko, I.V. Levchuk. Harchova i pererobna promislovist. – Vip. 3 (343). – 2008. – P. 22–24.

2. Oseyko M.I. Tehnologiya roslinnykh oliy. – K.: VV «Varta», 2006. – 280 p.

3. Oseyko M.I. Sistema KTIOL: Innovatsiyni tehnologiyi harchuvannya v ozdorovlenni osobistosti. M.I. Oseyko. Tezi dopovidey mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferentsiyi «Progresivna tehnika ta tehnologiyi harchovih virobnitstv, restorannogo ta gotelnogo gospodarstv i torgivii», 20 travnya 2009 r., Kharkiv: u 2 ch. – Ch. 1. – Kharkiv: HDUHT, 2009. – P. 146–147.

4. Tutelyan V.A. Funktsionalnyie zhirovyye produkty v strukture pitaniya. V.A. Tutelyan, A.P. Nechaev, A.A. Kochetkova. Maslozhirovaya promyshlennost. – 2009. – № 6. – P. 6–9.

5. Kononkov P.F. Amarant perspektivnaya kultura XXI veka. P.F. Kononkov, V.K. Gins, M.S. Gins. – M.: Izd-vo RUDN, 1999. – 297 p.

6. Chirkova T.V. Amarant kultura XXI veka. T.V. Chirkova. Sorosovskiy obrazovatelnyiy zhurnal. – № 10. – 1999. – P. 22–27.

7. Kamyisheva I.M. Razrabotka tehnologiy kompleksnoy pererabotke semyan amaranta na pischevyie tseli [Tekst] : avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenyu kand. tehn. nauk : spets. 05.18.06 «Tehnologiya zhiriv, efirnykh masel i parfumerno-kosmetichnykh produktiv». I.M. Kamyisheva. – SPb, 2000. – 37 p.

8. Kulakova S.N. Rastitelnyie masla novogo pokoleniya i ih rol v pitanii. S.N. Kulakova, E.V. Viktorova. Masla i zhiriy. – № 67. – 2006. – P. 1–5.

9. <http://www.amarant-aktiv.ru>.

10. Zhiri ta oliyi tvarinni i roslinni. Vznachennya skladu sterinovoyi fraktsiyi. Gazohromatografichniy metod: DSTU ISO 6799-2002 [Tekst] / Chinniy vid 2003-04-01. – Kiyiv: Derzhspozhivstandart Ukrayini, 2003. – 13 p.

11. Kischenko V.A. Vznachennya skvalenu – unikalnogo fitosterinu lipidiv metodom gazoridinnoyi hromatografii. V.A. Kischenko, I.V. Levchuk, M.I. Oseyko, O.V. Golubets, O.A. Litvinenko. Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «KhPI». – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2013. – № 11. – P. 137–141.

УДК 664:665.1/7:539:542/543

Левчук І.В., Кищенко В.А., Тимченко В.К., Куниця Е.В.

АМАРАНТОВОЕ МАСЛО - КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ДОБАВКИ

В статье подтверждена высокая ценность амарантового масла в качестве

биологически активной добавки. Разработан метод исследования сквалена – естественного антиоксиданта на основе методов газожидкостной и тонкослойной хроматографии. Представлены результаты мониторинга сквалена в амарантовом масле и определены его некоторые структурные, физико-химические и показатели безопасности для целей идентификации, фальсификации и создания схем технохимического контроля производства.

Levchuk I.V., Kishchenko V.A., Timchenko V.K., Kunitsa K.V.

AMARANTH OIL - THE QUALITY AND SAFETY OF THE USE IN A DIETARY SUPPLEMENT

The article confirmed the high value of amaranth oil in a dietary supplement. Developed research method of squalene – a natural antioxidant-based gas-liquid chromatography. Results of monitoring of squalene in amaranth oil and identified some of the structural, physico-chemical and safety indicators for the purposes of identification, falsification and creating schemes technochemical control of production.

УДК 621.313:536.2.24:539.2

Болюх В.Ф., Олексенко С.В.

ЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ДОУСКОРИТЕЛЬ ИНДУКЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКОГО ТИПА

Линейный электромеханический ускоритель индукционно-динамического типа применяется для высокоскоростного разгона массивных исполнительных элементов (ИЭ) на коротком активном участке во многих областях науки и техники [1]. Для авиационной, ракетно-космической и оборонной техники разрабатываются пусковые устройства и ускорители различных массивных объектов [6,7]. ЛЭУ используются для ударно-конденсаторной сварки, импульсной штамповки, клепально-сборочных работ, для электродинамической сепарации и измельчения порошков, для магнитно-импульсного уплотнения порошков входящих в композитные составы и др. [8–10]. Для исследования микрометеоритных ударов на космические или ответственные наземные объекты используются научно-технологические пусковые установки [11–12]. Высокоскоростные устройства применяются в быстродействующей клапанной и коммутационной аппаратуре, в защитных электрических аппаратах, в топливной аппаратуре, в испытательных комплексах для проверки ответственных изделий на ударные нагрузки и т.д. [13–15]. Линейный электромеханический ускоритель применяются для очистки вагонов, трюмов, фильтров и иных емкостей от остатков продуктов и налипших материалов, в противообледенительных системах самолетов, ЛЭП и иных ответственных объектов [16,17]. Перспективными сферами использования указанного ускорителя являются устройства дополнительного ускорения подвижных объектов, защита помещений и ответственных объектов от нежелательного в них проникновения, уничтожение информации на цифровых носителях при несанкционированном доступе, баллистическая гравиметрия и др.

Линейный электромеханический ускоритель обеспечивают непосредственное преобразование энергии импульсного источника в кинетическую энергию с линейным перемещением ИЭ. В качестве импульсного источника целесообразно использовать емкостной накопитель энергии (ЕНЭ) с электронной схемой, формирующей апериодический импульс тока в каждом индукторе отдельно (индуктор шунтирован обратным диодом), что позволяет применять электролитические конденсаторы с высокими удельными параметрами.

Во всех указанных выше применениях линейный электромеханический ускоритель обеспечивает разгон ИЭ от нулевой начальной скорости. Перспективным вариантом применения является дополнительное ускорение массивного ИЭ, имеющего начальную скорость. Такой линейный электромеханический доускоритель (ЛЭДУ) может обеспечивать дополнительный разгон ИЭ, который предварительно ускорен иными неэлектрическими способами (механическим, химическим, гидравлическим, пневматическим и др.). Конструкция такого ЛЭДУ должна иметь коаксиальную конфигурацию с возможностью пролета якоря с ИЭ внутри его индуктора.

Целью работы является анализ эффективности ЛЭДУ пролетной конфигурации для дополнительного ускорения якоря и ИЭ, имеющих начальную скорость.

Математическая модель ИДП

Для расчетов рабочих процессов ЛЭДУ проведено компьютерное моделирование в программном пакете *COMSOL Multiphysics 4.4* (рис. 1), основанное на дифференциальных уравнениях в частных производных, в основу которого заложен метод конечных элементов. Указанные преобразователи имеют осевую симметрию, что позволяет использовать 2D-осиметрия математическую модель.

Электромагнитный процесс описан системой дифференциальных уравнений для каждого узла в системе координат (rz) в зависимости от комплексного векторного магнитного потенциала $\bar{A} = (\bar{A}_r, \bar{A}_{phi}, \bar{A}_z)$.

для немагнитных материалов:

$$\sigma \cdot \frac{\partial \bar{A}}{\partial t} + \frac{1}{\mu_0} \cdot \nabla \times (\mu_0^{-1} \cdot \bar{r}^{-1} \cdot \bar{B}) - \sigma \cdot \bar{v} \times \bar{B} = \bar{J}_e; \quad (1)$$

$$\bar{B} = \nabla \times \bar{A}; \quad (2)$$

для ферромагнетиков:

$$\sigma \cdot \frac{\partial \bar{A}}{\partial t} + \frac{1}{\mu_0} \cdot \nabla \times \bar{H} - \sigma \cdot \bar{v} \times \bar{B} = \bar{J}_e; \quad (3)$$

$$\bar{H} = f(|\bar{B}|), \quad (4)$$

где σ – электрическая проводимость, адаптивно учитывающая текущую температуру материала; μ_0, μ_r – абсолютная и относительная магнитная проницаемость; \bar{v} – скорость узла; \bar{J}_e – плотность тока в узле.

Ток i в многовитковом индукторе определяется уравнением:

$$\sigma \cdot \frac{\partial \bar{A}}{\partial t} + \frac{1}{\mu_0} \cdot \nabla \times (\mu_0^{-1} \cdot \bar{r}^{-1} \cdot \bar{B}) - \sigma \cdot \bar{v} \times \bar{B} = \frac{i \cdot N}{S}, \quad (5)$$

где N – число витков индуктора; S – сечение витка индуктора.

Электродинамические силы, действующие на подвижный электропроводящий якорь, определяется посредством расчета тензора натяжения Максвелла (T):

$$\bar{F} = 2 \cdot \pi \cdot r \int_{\partial\Omega} \bar{n} \cdot T dS; \quad (6)$$

$$\bar{\tau} = 2 \cdot \pi \cdot r \int_{\partial\Omega} (\bar{r} - \bar{r}_0) \times (\bar{n} \cdot T) dS, \quad (7)$$

где $\bar{F}, \bar{\tau}$ – нормальное и радиальное значение электродинамической силы; \bar{n} – вектор внешней нормали к поверхности интегрирования dS .

Система уравнений (1–7) включает начальные

$$\bar{A}_{t=0}(\bar{A}_r, \bar{A}_{phi}, \bar{A}_z) = \bar{A}(0, 0, 0) \quad (8)$$

и граничные условия:

$$\bar{n} \times \bar{A} = 0. \quad (9)$$

Сопротивление среды в математической модели описывается уравнением Навье-Стокса для движущегося поля $\bar{u} = (u, v)$ и давления p для деформируемой подвижной системы координат:

$$\rho \frac{d\bar{u}}{dt} - \nabla \cdot \left[-p\bar{I} + \eta(\nabla\bar{u} + (\nabla\bar{u})^T) \right] + \rho((\bar{u} - \bar{u}_m) \cdot \nabla)\bar{u} = \bar{F}; \quad (10)$$

$$-\nabla \cdot \bar{u} = 0, \quad (11)$$

где \bar{I} – единичная диагональная матрица; \bar{F} – объёмная сила, действующая на среду; \bar{u}_m – координатная скорость системы; ρ – плотность.

Структурные изменения твёрдого тела описываются при помощи эластичной и нелинейной деформации согласно:

$$\bar{F}_T = -\bar{n} \cdot (-p\bar{I} + \eta(\nabla\bar{u} + (\nabla\bar{u})^T)), \quad (12)$$

где \bar{n} – вектор внешней нормали.

Система уравнений (10–12) содержит начальные:

$$\bar{u} = 0, \frac{d\bar{u}}{dt} = 0, p = 0 \quad (13)$$

и граничные условия (для недеформируемой области)

$$\bar{u} = 0. \quad (14)$$

Тепловые процессы в ЛЭДУ описываются уравнением:

$$\rho C_p \frac{dT}{dt} + \rho C_p \bar{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q, \quad (15)$$

где C_p – теплоемкость; T – температура; Q – энергия; k – теплопроводность.

Уравнение (15) включает начальное условие: $T = 273$ К, и граничные условия:

$$-\bar{n} \cdot (-k \nabla T) = 0. \quad (16)$$

Решения системы уравнений (1-17) произведено методом BDF (*backward differentiation formula*) с фиксированным шагом по времени и использованием решателя PARDISO.

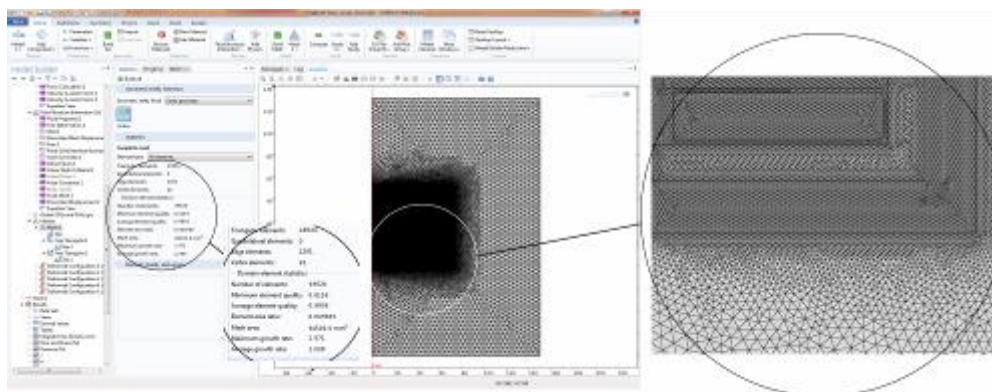


Рисунок 1 – Компьютерная геометрическая модель ЛЭДУ

Геометрические параметры ЛЭДУ

Учитывая многовариантность комбинаций входных параметров, массы медного якоря с ИЭ и их начальной скорости, рассмотрим два варианта ЛЭДУ:

№1 – малая масса якоря и ИЭ ($m_{я}$) с высокими начальными скоростями (V_{z0});

№2 – большая масса якоря и ИЭ с относительно невысокими начальными скоростями.

Основные показатели рассматриваемых вариантов ЛЭДУ представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные параметры ЛЭДУ

Параметр	Обозначение	Величина	
		ЛЭДУ №1	ЛЭДУ №2
Внешний диаметр индуктора	D_{ex1} , мм	24	162
Внутренний диаметр индуктора	D_{in1} , мм	14	122
Высота индуктора	H_1 , мм	30	240
Внешний диаметр якоря	D_{ex2} , мм	13	120
Внутренний диаметр якоря	D_{in2} , мм	11	108
Высота якоря	H_2 , мм	30	240
Радиальное расстояние между индуктором и якорем	δ , мм	0,5	1,0
Количество витков индуктора	N_1 , шт	15	60
Сечение шины индуктора	$a \times b$, мм ²	10	80
Масса якоря и ИЭ	$m_{я}$, кг	0,0045	13,2
Емкость ЕНЭ	C , мкФ	100	80
Напряжение ЕНЭ	U_0 , кВ	10	50

В табл. 2 представлены результаты моделирования для рассматриваемых вариантов ЛЭДУ, где V_{z0} – начальная скорость ИЭ; V_{z-end} – конечная скорость ИЭ; E_0 –

начальная энергия ИЭ; E_{end} – конечная энергия ИЭ; ΔE – относительный прирост энергии ИЭ; η – эффективность ЛЭДУ; V_1 – объем ЕНЭ; m_1 – масса ЕНЭ.

На рис. 2 представлены электромеханические и энергетические характеристики этих ЛЭДУ, где Q_2 – мгновенное значение тепловой мощности, выделяемой в якоре ИЭ; ΔV – изменение скорости якоря и ИЭ; j_1 – усредненное значение плотности тока по сечению индуктора; j_2 – усредненное значение плотности тока по сечению якоря; f_z – мгновенное значение электродинамических усилий, действующих на якорь; z – перемещение якоря и ИЭ в аксиальном направлении.

Таблица 2 – Показатели ЛЭДУ

ЛЭДУ	D_{ex2} , мм	V_{z0} , м/с	V_{z-end} , м/с	E_0 , кДж	$E_{(ЕНЭ)}$, кДж	E_{end} , кДж	ΔE , %	η , %	V_1 , м ³	m_1 , кг
№1	13	855	887	15	5	17.7	18.01	54.0	0.0023	3.34
№2	120	310	602	528	100	575	8.93	47.5	0.046	67

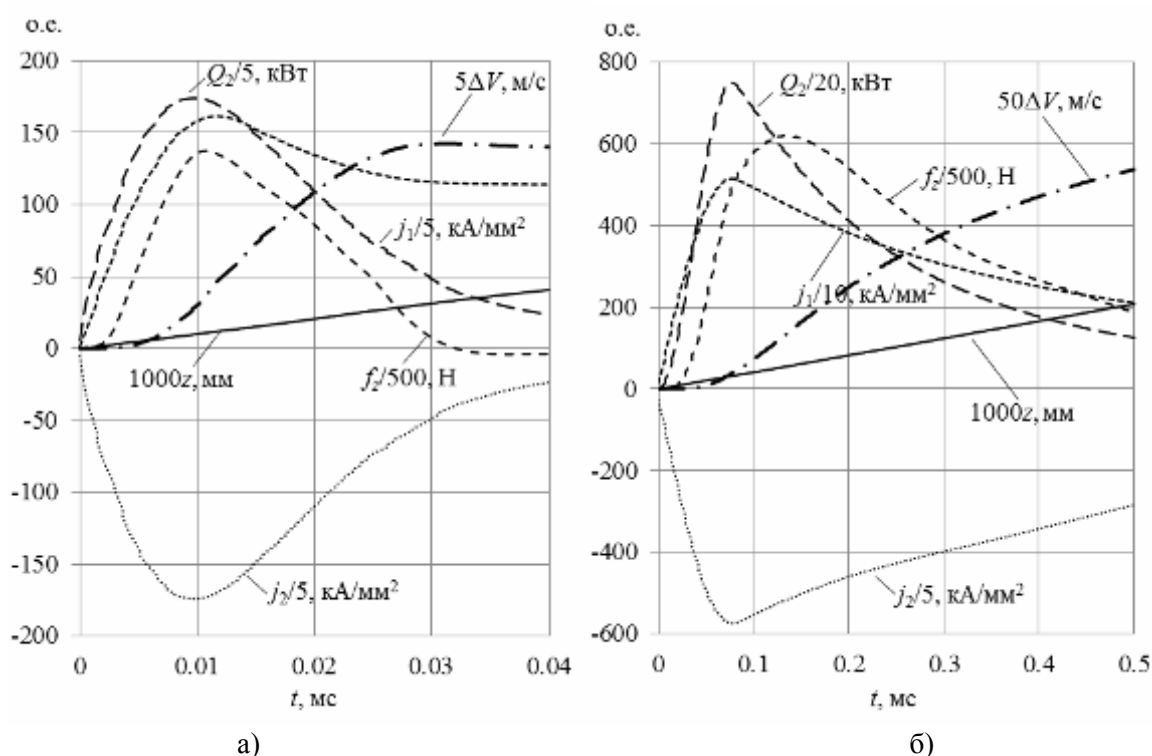


Рисунок 2 – Электромеханические и энергетические характеристики ЛЭДУ №1 (а) и ЛЭДУ №2 (б)

Как видно в ЛЭДУ №1 электромеханические процессы протекают на порядок быстрее, чем в ЛЭДУ №2 и носят ярко выраженный импульсный характер. При этом в ЛЭДУ №1 скорость ИЭ V выходит на насыщение с последующим снижением из-за электродинамических и аэродинамических сил, а в ЛЭДУ №2 скорость постоянно возрастает на рассматриваемом интервале времени.

На рис. 3 показаны геометрические параметры ЛЭДУ и распределение магнитного поля в течение рабочего процесса ЛЭДУ №1. Как видно, наибольшее значение индукции магнитного поля возникает в определенный момент времени (12 мкс), когда якорь и ИЭ наполовину охвачены индуктором. В целом необходимо

отметить довольно значительный уровень импульсных магнитных полей, что необходимо учитывать при разработке указанных доускорителей.

В табл. 3 представлены результаты расчета эффективности ЛЭДУ №1. При отношении энергий $E_0/E_{ЕНЭ} < 0,35$ эффективность ЛЭДУ η находится на уровне 52–54 %. Увеличение указанного отношения энергий $E_0/E_{ЕНЭ}$ приводит к снижению эффективности η , однако дает возможность на 20–30 % повысить энергию якоря и ИЭ.

Для ЛЭДУ №2 с большей массой ИЭ достижение значительного прироста энергии ограничено тепловыми режимами (в рассматриваемом варианте поверхностные слои якоря ИЭ, обращенные к индуктору нагревается до температур 800–1000 °С) и уровнями создаваемых магнитных полей. Кроме того, отношение энергий $E_0/E_{ЕНЭ}$, при котором эффективность ЛЭДУ становится менее 50 %, ниже, чем у ЛЭДУ №1.

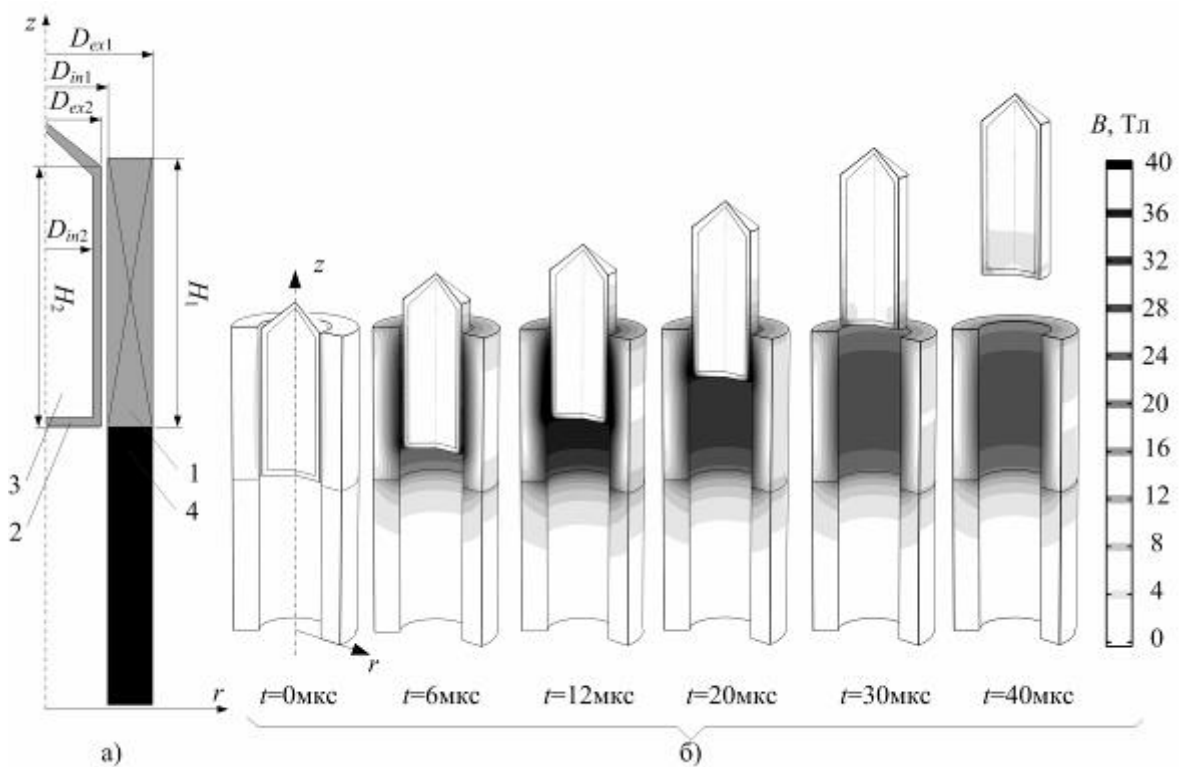


Рисунок 3 – Геометрические параметры ЛЭДУ (а) и распределение магнитного поля в течение рабочего процесса ЛЭДУ №1: (б) 1 – индуктор; 2 – якорь; 3 – ИЭ; канал начального ускорения

Таблица 3 – Показатели ЛЭДУ №1 при различной энергии ЕНЭ ($V_{z0}=855$ м/с)

$E_{ЕНЭ}$, кДж	V_{z-end} , м/с	E_{end} , кДж	ΔE , %	η , %
5	886.9	17.7	18.0	54.0
10	914.1	18.8	25.3	38.0
15	933.3	19.6	30.6	30.6
30	1000.0	22.5	50.0	25.0

Выводы

Предложена концепция и разработана математическая модель линейного электромеханического доускорителя индукционно-динамического типа, описывающая взаимосвязанные электромагнитные, тепловые и механические процессы.

Указанный ускоритель обеспечивает эффективность на уровне 52–54 % при повышении кинетической энергии ИЭ на 20–30 %.

Литература

1. Болюх В.Ф., Щукин И.С. Линейные индукционно-динамические преобразователи.– Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing– 2014.– 496 с. (<https://www.lap-publishing.com>).
2. Угаров Г.Г., Нейман В.Ю. Тенденции развития и применения ручных ударных машин с электромеханическим преобразованием энергии // Известия вузов. Электромеханика.– 2002.– № 2.– С. 37–43.
3. Нейман В.Ю. Анализ процессов энергопреобразования линейных электромагнитных машин с предварительным аккумулярованием магнитной энергии в динамических режимах // Электротехника.– 2003.– № 2.– С. 30–36.
4. Здор Г.Н., Мамутов А.В., Мамутов В.С., Смотраков Д.В. Разработка эффективных технологических устройств для магнитно-эластоимпульсной вырубке-пробивки тонколистовых материалов // Металлообработка.– 2001.– № 2.– С. 28–32.
5. Гурин А.Г., Набока Б.Г., Гладченко В.Я. Волновые явления в электродинамических излучателях и формирование сложных гидроакустических сигналов // Технічна електродинаміка.– 2001.– № 2.– С. 3–6.
6. Fair H.D. Electromagnetic launch science and technology in the United States enters a new era // IEEE Trans. Magnetics.– 2005.– № 1, Vol. 41.– P. 158–164.
7. Reck B. First design study of an electrical catapult for unmanned air vehicles in the several hundred kilogram range // IEEE Trans. Magnetics.– 2003.– № 1, Vol. 39.– P. 310–313.
8. Стрижаков Е.Л., Нескоромный С.В., Меркулов Р.В. Ударная конденсаторная сварка с магнитно-импульсным приводом // Сварочное производство.– 2009.– № 2.– С. 33–35.
9. Bolyukh V.F., Luchuk V.F., Rassokha M.A., Shchukin I.S. High-efficiency impact electromechanical converter // Russian electrical engineering.– 2011.– Vol. 82, № 2.– P. 104–110.
10. Туманов И.Е. Параметрический электромагнитный возбудитель низкочастотных механических колебаний для систем контроля, измерения и дозирования массы многофракционных жидких продуктов // Электротехника.– 2013.– № 8.– С. 48–52.
11. Upshaw J.L., Kajs J.P. Micrometeoroid impact simulations using a railgun electromagnetic accelerator // IEEE Trans. Magnetics.– 1991.– № 1, Vol. 27.– P. 607–610.
12. Косцов Э.Г. Микроэлектромеханический ускоритель твердотельных объектов // Автометрия.– 2012.– Т. 48, № 4.– С. 93–103.
13. Bolyukh V.F., Katkov I.I. Cryogenic cooling system “Krioblast” increased efficiency and lowered the operation time of protective electrical induction-induced devices // Proceedings of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition.– Volume 8 B, 2013.– November 15–21, 2013.– San Diego, CA, USA.– Code 105847.– 10 pgs.

14. Bissal A., Magnusson J., Engdahl G.. Comparison of two ultra-fast actuator concept // IEEE Trans. Magnetics.– 2012.– Vol. 48, №11.– P. 3315–3318.
15. Татмышевский К.В., Козлов С.А. Магнитно-импульсные установки для испытаний изделий авиакосмической техники на ударные воздействия // Авиакосмическое приборостроение.– 2005.– № 12.– С. 52–57.
16. Тютюкин В.А. Магнитно-импульсный способ разрушения сводов и очистки технологического оборудования от налипших материалов // Электротехника.– 2002.– № 11.– С. 24–28.
17. Болюх В.Ф., Олексенко С.В., Щукин И.С. Сравнительный анализ ударных электромеханических преобразователей индукционно-динамического, электродинамического и электромагнитного типа // Вісник НТУ «ХПІ». Сер.: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії.– 2014.– № 38.– Харків: НТУ «ХПІ».– С. 30–44.
18. Bolyukh V.F., Oleksenko S.V., Katkov I.I. The use of fast cryogenic cooling and ferromagnetic core greatly increases efficiency of a linear induction-dynamic converter // Refrigeration Science and Technology.– 13th International Institute of Refrigeration Conference on Cryogenics. – Prague, Czech Republic.– April 7–11, 2014.– Code 106226.– 2014.– P. 268–275.

Bibliography (transliterated)

1. Bolyukh V.F., Schukin I.S. Lineynyye induktsionno-dinamicheskie preob-razovateli.– Saarbrucken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing– 2014. – 496 p. (<https://www.lap-publishing.com>).
2. Ugarov G.G., Neyman V.Yu. Tendentsii razvitiya i primeneniya ruchnykh udarnykh mashin s elektromekhanicheskim preobrazovaniem energii. Izvestiya vuzov. Elektromekhanika. – 2002.– # 2. – P. 37–43.
3. Neyman V.Yu. Analiz protsessov energopreobrazovaniya lineynykh elektromagnitnykh mashin s predvaritelnyim akumulirovaniem magnitnoy energii v dinamicheskikh rezhimakh. Elektrotehnika.– 2003.– # 2. – P. 30–36.
4. Zdor G.N., Mamutov A.V., Mamutov V.S., Smotrakov D.V. Razrabotka effektivnykh tehnologicheskikh ustroystv dlya magnitno-elastoimpulsnoy vyirubki-probivki tonkolistovykh materialov. Metalloobrabotka.– 2001.– # 2.– P. 28–32.
5. Gurin A.G., Naboka B.G., Gladchenko V.Ya. Volnovyye yavleniya v elektrodinamicheskikh izluchatelyakh i formirovaniye slozhnykh gidroakusticheskikh signalov. TehnIchna elektrodinamika.– 2001.– # 2.– P. 3–6.
6. Fair H.D. Electromagnetic launch science and technology in the United States enters a new era. IEEE Trans. Magnetics.– 2005.– # 1, Vol. 41. – P. 158–164.
7. Reck B. First design study of an electrical catapult for unmanned air vehicles in the several hundred kilogram range. IEEE Trans. Magnetics.– 2003.– # 1, Vol. 39.– P. 310–313.
8. Strizhakov E.L., Neskromnyiy S.V., Merkulov R.V. Udarnaya kondensatornaya svarka s magnitno-impulsnyim privodom. Svarochnoe proizvodstvo.– 2009.– # 2.– P. 33–35.
9. Bolyukh V.F., Luchuk V.F., Rassokha M.A., Shchukin I.S. High-efficiency impact electromechanical converter. Russian electrical engineering.– 2011.– Vol. 82, # 2.– P. 104–110.
10. Tumanov I.E. Parametricheskii elektromagnitnyiy vzbuditel nizkochastotnykh mekhanicheskikh kolebaniy dlya sistem kontrolya, izmereniya i dozirovaniya massyi mnogofraktsionnykh zhidkikh produktov. Elektrotehnika.– 2013.– # 8.– P. 48–52.

11. Upshaw J.L., Kajs J.P. Micrometeoroid impact simulations using a railgun electromagnetic accelerator. *IEEE Trans. Magnetics.*– 1991.– # 1, Vol. 27.– P. 607–610.
12. Kostsov E.G. Mikroelektromehaniческиy uskoritel tverdotelnyih ob'ektov. *Avtometriya.*– 2012.– T. 48, # 4.– P. 93–103.
13. Bolyukh V.F., Katkov I.I. Cryogenic cooling system “Krioblast” increased efficiency and lowered the operation time of protective electrical induction-induced devices. *Proceedings of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition.*– Volume 8 B, 2013.– November 15–21, 2013.– San Diego, CA, USA.– Code 105847.– 10 pgs.
14. Bissal A., Magnusson J., Engdahl G. Comparison of two ultra-fast actuator concept. *IEEE Trans. Magnetics.*– 2012.– Vol. 48, #11.– P. 3315–3318.
15. Tatmyishevskiy K.V., Kozlov S.A. Magnitno-impulsnyie ustanovki dlya ispytaniy izdeliy aviakosmicheskoy tehniky na udarnyie vozdeystviya. *Aviakosmicheskoe priborostroenie.*– 2005.– # 12. – P. 52–57.
16. Tyutkin V.A. Magnitno-impulsnyiy sposob razrusheniya svodov i ochistki tehnologicheskogo oborudovaniya ot nalipshih materialov. *Elektrotehnika.*– 2002.– # 11.– P. 24–28.
17. Bolyukh V.F., Oleksenko S.V., Schukin I.S. Sravnitelnyiy analiz udarnyih elektromehaniческиkh preobrazovateley indukcionno-dinamicheskogo, elektrodinamicheskogo i elektromagnitnogo tipa. *Visnik NTU «HPI». Ser.: Elektrichni mashini ta elektromehanične peretvorennya energii.*– 2014.– # 38.– Harkiv: NTU «HPI».– P. 30–44.
18. Bolyukh V.F., Oleksenko S.V., Katkov I.I. The use of fast cryogenic cooling and ferromagnetic core greatly increases efficiency of a linear induction-dynamic converter. *Refrigeration Science and Technology.*– 13th International Institute of Refrigeration Conference on Cryogenics. – Prague, Czech Republic.– April 7–11, 2014.– Code 106226.– 2014.– P. 268–275.

УДК 621.313:536.2.24:539.2

Болюх В.Ф., Олексенко С.В.

ЛІНІЙНИЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ ПРИСКОРЮВАЧ ІНДУКТИВНО-ДИНАМІЧНОГО ТИПУ

Запропоновано математичну модель лінійного електромеханічного додаткового прискорювача, що враховує взаємозалежні електричні, магнітні, механічні та теплові процеси, що протікають при збудженні індуктора від ємнісного накопичувача. Встановлена можливість ефективного використання лінійного електромеханічного додаткового прискорювача для збільшення динамічних показників якоря, що мав початкову швидкість. Показано ефективність використання лінійного електромеханічного прискорювача для різних варіантів якоря (з малою та великою масою). Досліджено відносний вплив використаної енергії ємнісного накопичувача енергії до початкової енергії якоря на ефективність роботи лінійного електромеханічного прискорювача.

Bolyukh V.F., Oleksenko S.V.

**LINEAR ACCELERATOR ELECTROMECHANICAL
INDUCTION-DYNAMIC TYPE**

The mathematical model of electromechanical linear additional accelerator that allows interdependent electrical, magnetic, mechanical and thermal processes that occur at excitation coil of capacitive drive. The possibility of efficient use of electromechanical linear accelerator for increasing dynamic performance anchors that had initial velocity. The efficiency of the electromechanical linear accelerator for different variants anchor (low and high mass). Investigated the relative impact of energy used capacitive energy storage to the original energy anchor the efficiency of the electromechanical linear accelerator.

УДК 665.1

Демидов І.М., Ситнік Н.С., Гусак В.А.

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПЕРЕЕТЕРИФІКАЦІЇ ОЛІЙ ТА ЖИРІВ

Вступ. Освоєння технологічного процесу переетерифікації олій та жирів розглядається в багатьох країнах як відносно новий етап в розвитку жиропереробної промисловості, який забезпечує покращення якості, розширення асортименту та підвищення біологічної цінності харчових жирових продуктів. Переетерифікація дозволяє отримувати різноманітні за фізико-хімічними властивостями жири та жирові продукти, використовуючи обмежений набір жирової сировини: природні та гідрогенізовані рослинні олії, тваринні жири.

Такі методи модифікації природних жирів та олій, як змішування, фракціонування, гідрогенізація, полягають в тому, що одночасно в тій чи іншій мірі змінюється жирнокислотний та триацилгліцерольний склад цих речовин. Модифікація олій та жирів методом низькотемпературної каталітичної переетерифікації відрізняється від вищенаведених процесів тим, що вона не впливає на ступінь насичення та не викликає ізомеризації жирних кислот, повністю зберігаючи жирнокислотний склад вихідного жиру [1].

Даний метод розглядається як альтернативний шлях отримання жирової основи маргаринів, шортенінгів та інших жирів спеціального призначення без транс-ізомерів жирних кислот, які мають негативний вплив на здоров'я людини [2].

В Малайзії і деяких інших країнах налаштовано виробництво маргаринів, кулінарних, хлібопекарських та інших жирів без транс-ізомерів на основі використання сумішей пальмової олії та продуктів її фракціонування, зокрема пальмового стеарину. Однак одним із недоліків продуктів на основі не модифікованої пальмової олії є поступове підвищення їх твердості в процесі зберігання, пов'язане з низькою швидкістю процесів кристалізації пальмової олії. Так, за 60 діб зберігання твердість за Камінським пальмової олії зростає від 250 до 300 г/см². У переетерифікованої пальмової олії твердість нижче і не перевищує 220 г/см² після 60 діб зберігання [3]. Таким чином, шортенінги, отримані на основі переетерифікованої пальмової олії, м'якше, ніж на звичайній пальмовій олії.

Природні олії та жири за жирнокислотним складом в повній мірі не відповідають сучасним уявленням про здорове харчування, тому що мають незбалансований жирнокислотний склад. Використання переетерифікації дозволяє отримувати спеціалізовані жири із заданим складом: вмістом насичених, моно- та поліненасичених жирних кислот, відношенням $\omega 6/\omega 3$. Комбінуючи переетерифікацію з іншими методами модифікації, можна отримувати продукти із заданими фізико-хімічними та функціональними властивостями.

Особливістю переетерифікованих жирів є здатність кристалізуватися в найбільш бажану для більшості твердих жирів β' - форму. Додавання їх в жирову основу спеціалізованих жирів значно покращує структурно-механічні характеристики, роблячи їх більш пластичними та однорідними. Триацилгліцерольний склад жирових сумішей суттєво впливає на їх пластичні властивості. Дослідження купажованих та

переетерифікованих сумішей, що містять повністю гідрогенізовані олії, показало, що в переетерифікованих сумішах міститься більша кількість різних триацилгліцеролів, ніж в сумішах, що не піддавалися переетерифікації [4].

Наявність широкого спектру триацилгліцеролів з різними температурами плавлення важлива для олійно-жирових продуктів, особливо при виробництві маргаринів і шортенингів, забезпечуючи їх добрі пластичні властивості.

Характеристика основних промислових каталізаторів. Переетерифікація олій та жирів може відбуватися за температури 250 °С та вище без каталізатору, але в цьому випадку процес проходить дуже повільно, а також відбуваються інші небажані процеси (ізомеризація, полімеризація, деструкція) [5].

В залежності від використаного каталізатору виділяють наступні види переетерифікації: хімічна та ензимна (ферментативна). Кожний спосіб має свої переваги та недоліки.

Ферменти отримали широке застосування в медицині та харчовій промисловості завдяки розвитку біотехнології. Існує два види каталітичних ліпаз, які розрізняються за виявленням специфічності:

- неспецифічна ліпаза – каталізує реакції в трьох позиціях триацилгліцеролу випадковим чином;
- 1,3 – специфічна ліпаза – каталізує реакції тільки на зовнішніх положеннях триацилгліцеролу.

Використання неспецифічної ліпази практично не має переваг перед звичайними хімічними методами, а отримані продукти за своїми властивостями подібні отриманим хімічним методом. Використання 1,3 – специфічних ліпаз дозволяє виробляти продукти, що мають особливий триацилгліцерольний склад, який неможна отримати хімічною переетерифікацією. Основний напрямок використання таких ліпаз – виробництво еквівалентів масла какао. Вихідну сировину, що використовується для ензимної переетерифікації, необхідно піддавати рафінації та дезодорації, тому що при підвищенні якісних показників (зменшенню вмісту вільних жирних кислот, первинних і вторинних продуктів окиснення, вологи) значно знижується активність ферменту [6].

В процесі хімічної переетерифікації олій та жирів з метою зниження енергетичного бар'єру, зниження температури та збільшення швидкості процесу використовуються наступні каталізатори [5, 7]:

- лужні метали (натрій і калій), концентрація каталізатору – (0,1–1)% від маси олії або жиру, або їх суміші, температура процесу (25–270) °С;
- алкоксида (метилат або етилат натрію), концентрація каталізатору – (0,1–2) % від маси олії або жиру, або їх суміші, температура процесу (50–120) °С;
- гідроксида лужних металів (натрію або калію), концентрація каталізатору – (0,5–2) % від маси олії або жиру, або їх суміші, температура процесу (150–250) °С.

Але використання вищенаведених каталізаторів переетерифікації ускладнюється наступними недоліками [8, 9]:

- Лужні метали володіють підвищеною реакційною здатністю, на повітрі вкриваються оксидною плівкою, енергійно реагують з водою, кислотами, неметалами, втрачаючи каталітичну активність. Крім того, вони характеризуються вогне- та вибухонебезпечністю при контакті з водою, а також при нагріванні [10, 11].

- Алкоксида (метилат натрію та етилат натрію) є дуже реакційно здатними, вибухо-, пожежонебезпечними речовинами, вони взаємодіють з діоксидом вуглецю,

диоксидом сірки, сірководнем, вологою та киснем повітря, внаслідок чого безворотно втрачають свою каталітичну активність. Таким чином, вони потребують дотримання умов зберігання: герметичність упаковки, віддаленість від джерела відкритого вогню та умов підвищеної вологості. Метилат натрію реагує з водою з утворенням метанолу і гідроксиду натрію, і у присутності каталізатора метанол може утворювати метилові ефіри жирних кислот в реакційній масі. Крім того, дані речовини є токсичними, спричиняють опіки шкіри та слизових оболонок. Виробництво цих каталізаторів є також вибухо-, пожежонебезпечним [12].

– Лужні гідроксиди мають меншу активність, ніж лужні метали, їх сплави та алкоксиди, і тому вимагають вищих температур процесу (понад 150 °С), що може призвести (хоча і в невеликій мірі) до небажаних побічних процесів, таких як утворення транс-ізомерів жирних кислот [5].

Найбільш поширено у промисловості використовуються метилат та етилат натрію. Ці речовини не є істинними каталізаторами реакції переетерифікації, а виконують роль ініціаторів для утворення такого каталізатору. Вони обернено взаємодіють з триацилгліцеридами, при цьому утворюється негативно заряджений гліцерат-аніон, який і є справжнім гомогенним каталізатором низькотемпературної переетерифікації ацилгліцеролів.

Постановка проблеми. Зважаючи на те, що процес переетерифікування здобуває значного поширення як інструмент модифікації олій та жирів, а також недоліки використання найбільш популярних каталізаторів процесу, представляє інтерес впровадження в якості каталізатору речовини, яка не поступається існуючим методам за ефективністю, а також позбавлена вищенаведених труднощів, пов'язаних з виробництвом, зберіганням та використанням.

Предметом нашого наукового дослідження є процес хімічної переетерифікації з використанням в якості каталізатору гліцератів лужних металів (натрію або калію).

Матеріали та методи. Мононатрієвий гліцерат отримують шляхом додавання гліцерину до металевого натрію в середовищі абсолютного спирту та подальшого нагрівання до повного випаровування спирту за температури близько 100 °С в умовах пониженого тиску.

Найбільш розповсюдженим методом отримання моно лужних гліцератів є взаємодія чистого безводного гліцерину з порошкоподібним їдким натром за температури до 120 °С, після чого виділяється вода, і при нагріванні до 145 °С відбувається реакція з утворенням пари та в'язкої, густої маси. При наступному інтенсивному перемішуванні та подальшому охолодженні утворюється кристалічна маса за реакцією:



Таким же чином отримують і монокалієву сіль гліцерину [13].

Мононатрій гліцерат являє собою гігроскопічну, білу, кристалічну речовину. При потраплянні води розкладається.

Використання гліцерату натрію або калію в якості каталізатору переетерифікації має наступні переваги:

– на відміну від метилату або етилату натрію, виробництво яких є вибухо- та пожежонебезпечним, гліцерат натрію або калію може бути отримано безпосередньо на

виробництві, де застосовується технологія хімічної переестерифікації олій та жирів, з використанням у якості сировини гліцерину та гідроксиду натрію або калію;

– гліцерат натрію або калію не втрачає беззворотно свою каталітичну здатність під час зберігання. У присутності вологи він піддається гідролізу з утворенням гліцерину та луку. Але при нагріванні цієї маси до температури 145 °С відбувається видалення води та знову утворення гліцерату у вигляді кристалічної маси;

– гліцерат натрію або калію не є вибухо-, пожежонебезпечною, токсичною речовиною на відміну від інших каталізаторів переестерифікації.

Результати. В [14] було запропоновано метод визначення активності каталізатору хімічної переестерифікації жирів метилату натрію, заснований на властивості пальмового олеїну підвищувати температуру плавлення на 12–14 °С. Для перевірки каталітичної активності гліцерату калію було проведено дослідження за умов, наведених в [14], та було визначено температуру плавлення пальмового олеїну до та після переестерифікації з гліцератом калію, різниця цих температур склала 16,6 °С, що вказує на можливість використання цієї речовини в якості каталізатору хімічної переестерифікації жирів.

Висновок. Таким чином, впровадження гліцерату натрію або калію як більш доступного, та такого, що можна одержувати в умовах оліє-жирового підприємства, а тому більш дешевого; безпечного з точки зору техніки безпеки каталізатору хімічної переестерифікації як способу модифікації олій та жирів є доцільним і перспективним.

Література

1. Сергеев А.Г. Производство пищевых переэтерифицированных жиров для маргариновой продукции / А.Г. Сергеев, Н.Л. Меламуд, Р.Л. Перкель. – М.: ЦНИИТЭИпищепром, 1975. – 51 с.
2. Остапов В.В. Проблема транс-изомеров в масложировой промышленности / В. В. Остапов // Масложировая промышленность. – 2010. – №2. – С. 4–7.
3. Nor Aini Idris. Interesterified palm products as alternatives to hydrogenation / Nor Aini Idris, Noor Lida Habu Mat Dian // Asia Pac. J. Clin. Nutr. – 2005. – № 14 (4). – P. 396–401.
4. Gavriilidou, V. Chemical interesterification of olive-oil-tristearin blends for margarine / V. Gavriilidou, D. Boskou // Int. J. Food Sci. Technol. – 1991. – №26. – P. 451–456.
5. О'Брайен Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение / Р. О'Брайен; пер. с англ. 2-го изд. В.Д. Широкова, Д.А. Бабейкиной, Н.С. Селивановой, Н.В. Магды. – СПб.: Профессия, 2007. – 752 с.
6. Алексеенко А.В. Переэтерификация: мифы и реальность / А.В. Алексеенко, А.В. Предыбайло // Пищевая промышленность. – 2013 – №3. – С. 64–65.
7. Технологія модифікованих жирів : навч. посіб. / Ф.Ф. Гладкий, В.К. Тимченко, І.М. Демидов та ін. – Харків: Підручник НТУ «ХПІ», 2014. – 214 с.
8. Технология переработки жиров / Н.С. Арутюнян, Е.П. Корнена, А.И. Янова и др. Под ред. проф. Арутюняна. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Пищепромиздат, 1998. – 452 с.
9. Laning S.J. Chemical interesterification of palm, palm kernel and coconut oils / S.J. Laning // J. Am. Oil Chemists' Soc. – 1985. – Vol. 62. – No. 2. – P. 400–402.

10. Карякин Ю.В., Ангелов И.И. Чистые химические вещества / Ю.В. Карякин, И.И. Ангелов. – М.: Химия, 1974. – 408 с.
11. Вредные вещества в промышленности / Под ред. Н.В. Лазарева, И.Д. Гадаскиной.: Л.: Химия, 1977. – Т. 3. – 608 с.
12. Гринберг Г., Щепанская Г. Модифицированные жиры [Текст]. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 105 с.
13. Лещенко Н.Ф. Технология производства глицерина из жиров и масел и его применение / Н.Ф. Лещенко. – М.: Пищепромиздат, 1998. – 192 с.
14. Голодняк В.А. Определение активности катализатора химической переэтерификации жиров / В.А. Голодняк, И.Н. Демидов, В.С. Мазаева, Н.С. Сытник, П.Ф. Петик // Уральский научный вестник. – №8 (87). – 2014. – С. 187–193.

Bibliography (transliterated)

1. Serheev A.H. Proyzvodstvo pyshchevykh pereeteryfytsyrovannykh zhyrov dlia marharynovoi produktsy. A.H. Serheev, N.L. Melamud, R.L. Perkel. – М.: TsNYUTЭYpyshcheprom, 1975. – 51 p.
2. Ostapov V.V. Problema trans-yzomerov v maslozhyrovoy promyshlennosty. V.V. Ostapov. Maslozhyrovaia promyshlennost. – 2010. – №2. – P. 4–7.
3. Nor Aini Idris. Interesterified palm products as alternatives to hydrogenation. Nor Aini Idris, Noor Lida Habi Mat Dian. Asia Pac. J. Clin. Nutr. – 2005.– № 14 (4). – P. 396–401.
4. Gavriilidou, V. Chemical interesterification of olive-oil-tristearin blends for margarine. V. Gavriilidou, D. Boskou. Int. J. Food Sci. Technol. – 1991.– №26. – P. 451–456.
5. O'Braien R. Zhyry y masla. Proyzvodstvo, sostav y svoistva, prymenenye. R. OBraien; per. s anh. 2-ho yzd. V.D. Shyrokova, D.A, Babeikynoi, N.S. Selyvanovoi, N.V. Mahdy. – SPb.: Professyia, 2007. – 752 p.
6. Alekseenko A.V. Pereeteryfykatsyia: myfy y realnost. A.V. Alekseenko, A.V. Predybailo. Pyshchevaia promyshlennost. – 2013 – №3. – P. 64–65.
7. Tekhnolohiia modyfikovanykh zhyriv : navch. posib. F.F. Hladkyi, V.K. Tymchenko, I.M. Demydov ta in. – Kharkiv: Pidruchnyk NTU «KhPI», 2014. – 214 p.
8. Tekhnolohyia pererabotky zhyrov. N.S. Arutiunian, E.P. Kornena, A.Y. Yanova y dr. Pod red. prof. Arutiuniana. – 2-e yzd., pererab. y dop. – М.: Pyshchepromyzzdat, 1998. – 452 p.
9. Laning S.J. Chemical interesterification of palm, palm kernel and coconut oils. S.J. Laning. J. Am. Oil Chemists Soc. – 1985. – Vol. 62. – No. 2. – P. 400–402.
10. Kariakyn Yu.V., Anhelov Y.Y. Chystye khymycheskye veshchestva / Yu.V. Kariakyn, Y.Y. Anhelov. – М.: Khymyia, 1974. – 408 p.
11. Vrednye veshchestva v promyshlennosty. Pod Red. N.V. Lazareva, Y.D. Hadaskynoi.: L.: Khymyia, 1977. – Т. 3. – 608 p.
12. Hrynberh H., Shchepanskaia H. Modyfytsyrovannyye zhyry [Tekst]. – М.: Pyshchevaia promyshlennost, 1973. – 105 p.
13. Leshchenko N.F. Tekhnolohyia proyzvodstva hlytseryna yz zhyrov y masel y eho pryomenenye. N.F. Leshchenko. – М.: Pyshchepromyzzdat, 1998. – 192 p.

14. Holodniak V.A. Opredelenye aktyvnosti katalyzatora khymicheskoi pereeteryfykatsyy zhyrov. V.A. Holodniak, Y.N. Demydov, V.S. Mazaeva, N.S. Sytnyk, P.F. Petyk. Uralskiy nauchnyi vestnyk. – №8 (87). – 2014. – P. 187–193.

УДК 665.1

Демидов И.Н., Сытник Н.С., Гусак В.А.

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ПЕРЕЭТЕРИФИКАЦИИ МАСЕЛ И ЖИРОВ**

В данной статье обобщены данные научно-технической литературы относительно технологии переэтерификации масел и жиров, приведена общая характеристика основных катализаторов химической переэтерификации, используемых в масложировой промышленности. Показана возможность использования в качестве катализаторов глицератов щелочных металлов.

Demidov I.M., Sytnik N.S., Gusak V.A.

**FUTURE DIRECTIONS OF IMPROVEMENT OF INTERESTERIFICATION OILS
AND FATS**

The article summarizes the scientific and technical literature on technology interesterification of oils and fats, gives a general description of the main catalysts for the chemical interesterification used in the oil and fat industry. The possibility of using as catalysts alkali metal glycerates is shown.