

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

В статье на основе разработанной методики проведения векторной оптимизации представлено программное средство, которое позволяет проводить параметрический синтез технологического объекта на примере одношnekового экструдера.

Для нахождения оптимального решения задачи по проведению параметрического синтеза технологических объектов существует несколько методов, например оптимизация по Парето, весовой метод, метод векторной оптимизации на дискретном множестве и др. [1].

Метод рабочих характеристик – один из наиболее удобных методов проведения параметрического синтеза технологических машин. В нем исследователь ищет оптимум одного из параметров эффекта (например w_1) при всех остальных показателях, приведенных в разряд ограничений типа равенства, т. е. решается задача нахождения w_{1max} при $w_2 = w_{2o}; w_3 = w_{3o}; \dots; w_p = w_{po}$.

Найденное максимальное значение w_{1max} зависит от фиксированных значений $w_{2o}, w_{3o}, \dots, w_{po}$. Эта зависимость называется рабочей поверхностью

$$w_{1max} = f_p(w_{2o}, w_{3o}, \dots, w_{po}).$$

Для нахождения рабочей поверхности определение величины w_{1max} производится при всех интересующих проектировщика комбинациях параметров w_{2o}, \dots, w_{po} .

Ограничения параметров эффекта имеют вид

$$w_l \leq W_l^d, \quad (1)$$

$$W_l^k \leq w_l \leq W_l^t, \quad (2)$$

$$W_l^n \leq w_l, \quad (3)$$

где $W_l^d, W_l^k, W_l^t, W_l^n$ – возможные уровни ограничения параметров эффекта.

Параметры технологического процесса, выбранные в качестве параметров эффекта, должны характеризовать масштаб, эффективность процесса и качество получаемого продукта.

До начала оптимизации исследователь должен определить ограничения параметров эффекта в виде (1), (2) или (3). При построении рабочих характеристик первого, второго, третьего и так далее до l -го вспомогательного параметра необходимо включать эти ограничения в число определяемых значений, причем таким образом, чтобы в область допустимых значе-

ний попало достаточное число функциональных зависимостей рабочих характеристик.

Тогда в принятой системе координат функциональные зависимости на рабочей поверхности ограничат оптимальный участок, если таковой имеется. В случае необходимости оптимальный участок может быть ограничен значениями первого и второго основных параметров эффекта в виде $w_{O1} = const$ и $w_{O2} = const$.

На основании предложенной методики [2] было разработано программное средство (ПС), позволяющее проводить векторную оптимизацию технологических объектов [3].

Графическое представление зависимостей полученных результатов имеет более наглядный вид взаимосвязи между интересующими исследователя параметрами. Этот подход применен для расчета шнекового прессующего механизма.

В качестве параметров эффекта мы выбрали: кпд. η (w_{O1} – первый основной параметр), производительность экструдера Q (w_{O2} – второй основной параметр), мощность сил полезного сопротивления N (w_{P1} – вспомогательный параметр), силу, действующую на матрицу R (w_{P2} – вспомогательный параметр), импульс касательных напряжений S_T (w_{P3} – вспомогательный параметр).

При запуске ПС на экране компьютера появляется меню, в котором представлены все действия, которые можно производить.

Выбрав подменю «Данные» в ПС пользователь может выбрать и считывать данные параметров эффекта из файла, полученные в результате расчета, или вводить данные с клавиатуры, полученные каким-либо другим способом (например, экспериментальным). Предусмотрена возможность исправления ошибок, если данные вводились с клавиатуры, и сохранять введенные, данные под старым именем или под новым как показано на рисунке 1.

Также можно ввести названия или обозначения параметров эффекта и выбрать удобный десятичный разделитель при вводе дробных чисел (формат числа).

После перечисленных выше действий на экране появляется информация, представленная на рисунке 2.

Мы видим изменения параметров эффекта при различных конструкциях.

В этом случае значения параметров эффекта разделяются по конструкциям, сортируются по второму основному параметру (в данном случае по производительности). Проводится интерполяция кубическим сплайном.

Интерполяция проводится для первого вспомогательного параметра w_{P1} от второго основного w_{O2} , второго вспомогательного w_{P2} от второго основного w_{O2} , третьего вспомогательного w_{P3} от второго основного w_{O2} и первого основного w_{O1} от второго основного w_{O2} [4].

Получаем зависимости $w_{P1} = f(n_j, w_{O2})$, $w_{P2} = f(n_j, w_{O2})$, $w_{P3} = f(n_j, w_{O2})$, $w_{O1} = f(w_{O2})$, где n_j – значения исследуемой входной величины при неизменных, заданных лицом, при-

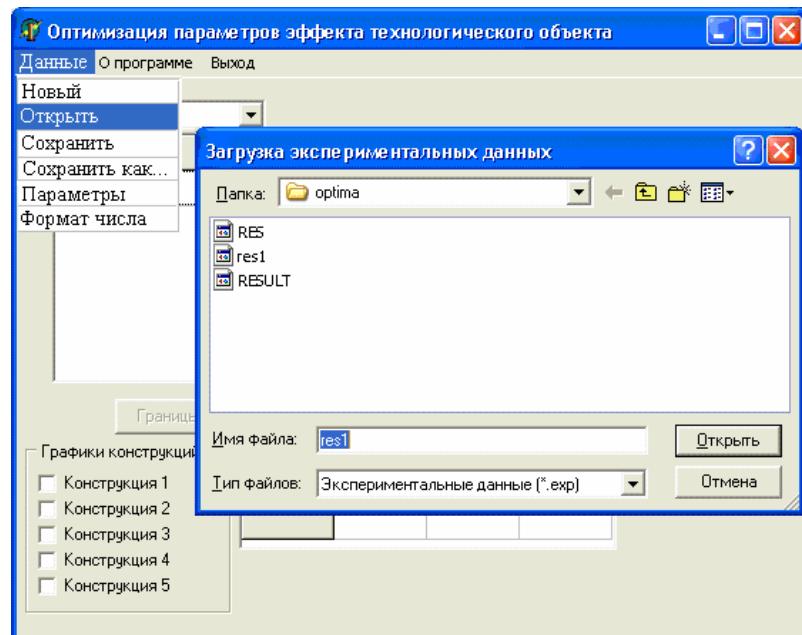


Рисунок 1. Работа с данными

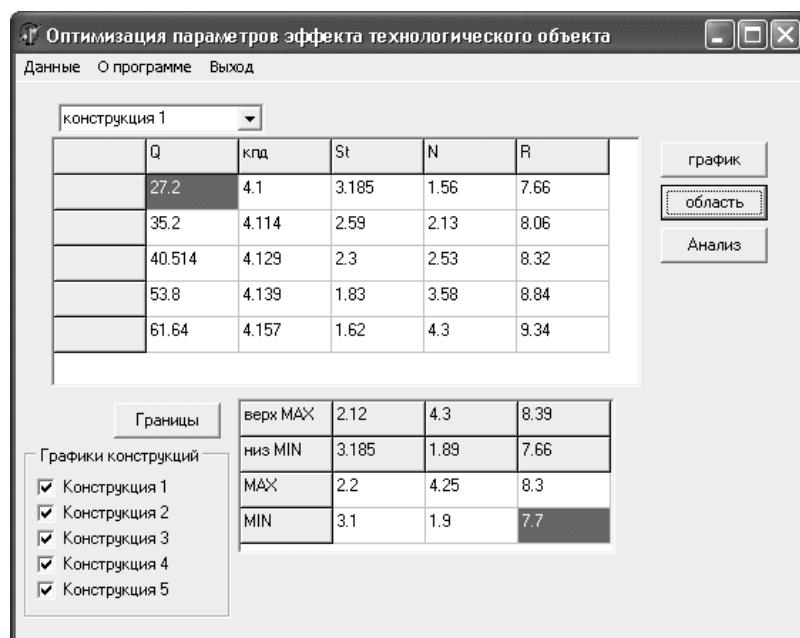


Рисунок 2. Работа с параметрами эффекта

нимющим решения, остальных входных величинах, $j = 1, 2, \dots, J$. Все эти зависимости отличаются тем, что каждая из них построена при постоянном значении некоторого конструктивного параметра, влияние которого исследуется. Количество семейств диаграмм на характеристике определяется количеством вариантов конструкции.

Далее находим минимальные и максимальные значения каждого параметра для каждого варианта конструкции, то есть мы получаем диапазоны изменения величин параметров. Диапазоны изменения параметров эффекта для всех вариантов конструкции выводятся на экран дисплея при нажатии клавиши «Границы». Пользователь должен ввести граничные значения по трем вспомогательным параметрам, в данном случае по мощности, силе и импульсу касательных напряжений (рисунок 2).

Если исследователь вводит значения, которые не попадают в заданный диапазон, то программа выдает сообщение о том, что вводимые значения не входят в заданный диапазон значений, и просит повторить ввод заново.

После ввода данных определяем направления ветвей кривых. Ветви могут быть направлены в одну сторону, в разные стороны или кривая параллельна оси абсцисс в зависимости от первой производной функции $Y' = f'(x)$ на концах интервала определения [4].

У исследователя есть возможность посмотреть, как граничные параметры располагаются на соответствующих характеристиках.

Таким образом, в результате вышеописанных действий мы получаем от первого параметра матрицу $w_{O2}(J,5)$ значений, аналогичные матрицы мы получаем от второго и третьего параметров. Затем по сплайнам зависимостей первого основного параметра от второго $w_{O1} = f(w_{O2})$ и найденным значениям второго основного параметра $w_{O2}(J,5)$ находим значения первого основного параметра, по вновь полученным точкам строим кубический сплайн $w_{O1} = f(n_j, w_{O2})$ при постоянном значении первого основного параметра $w_{P1} = const$. Затем по оптимальным кривым определяется оптимальная область для одношнекового прессующего механизма определенной конструкции и с определенными параметрами согласно условиям (1), (2), (3).

При выборе пункта меню «Оптимальная область» непосредственно по полученным данным производится построение графических за-

висимостей. На экране строятся оси координат первого основного параметра и второго основного параметра, координатная сетка по оси 0_x , производится масштабирование и разбивка по осям 0_x и 0_y . Строятся кривые $w_{O1} = f(n_j, w_{O2})$ при $w_{P1} = const$, $w_{O1} = f(n_j, w_{O2})$ при $w_{P2} = const$, $w_{O1} = f(n_j, w_{O2})$ при $w_{P3} = const$. На экране дисплея оптимальная область, если она имеется, закрашивается, на ней указываются ограничивающие параметры эффекта.

Оптимизацию прессующего механизма проводили по максимальному значению коэффициента полезного действия η , поскольку этот параметр является «сверткой» наибольшего числа выбранного нами комплекса параметров эффекта прессующего механизма. Остальные параметры эффекта выступают в виде ограничений оптимальной области: сила, действующая на матрицу $R < 10$ кН; мощность сил полезного сопротивления $N < 5$ кВт; импульс касательных напряжений $1,5 < S_t < 3,5$ МПа²с; кПД $\eta > 2,5\%$. Ограничения параметров эффекта введены согласно (1), (2), (3).

Оптимизации подвергаются все элементы множеств конструктивных и геометрических параметров, входящих в математическую модель. Порядок оптимизации элементов существенного значения не имеет, однако должно быть выполнено условие, по которому определение оптимального значения каждого следующего конструктивного или геометрического параметра не должно приводить к снижению достигнутой перед этим величины η .

Рассмотрим задачу оптимизации геометрических параметров универсального пресс-экструдера ПЭШ-30/4, при расчетах использовали реологические параметры комбикорма ПК 4-17. Расчеты производились при влажности комбикорма 28% и скорости вращения шнека соответственно 10, 13, 15, 20, 23 рад/с. В таблице 1 представлены исходные данные.

Таблица 1. Исходные данные для оптимизации пресс-экструдера

Наименование	Значения
Диаметр цилиндра, м	0,0556
Внешний диаметр винтовой линии шнека, м	0,0542
Осевая толщина винтовой линии шнека, м	0,007
Высота лопастей шнека, м	0,0125
Высота компрессионного затвора, м	0,0041
Ширина компрессионного затвора, м	0,05
Диаметр матрицы, м	0,011
Длина матрицы, м	0,1
Число фильтер	1
Угловая скорость вращения шнека, рад/с	10,13,15,20,23

На рисунке 3 изображена характеристика влияния на кпд прессующего механизма параметра p_{uw} – шага винтовой лопасти шнека.

Значения параметра p_{uw} выбраны в следующем порядке: $p_{uw1} = 0,035$; $p_{uw2} = 0,03$; $p_{uw3} = 0,04$; $p_{uw4} = 0,045$; $p_{uw5} = 0,05$ в метрах. На рисунке 3 оптимальная область ограничена диаграммами: $\eta = f(Q)$ при $p_{uw}=0,035$ м; силой, действующей на матрицу R, (т. к. у первой конструкции она больше допустимой при скоростях $\omega=20$ рад/с и $\omega=23$ рад/с); мощностью сил полезного сопро-

тивления N (у четвертой и пятой конструкций она больше допустимой при $\omega=23$ рад/с); импульсом касательных напряжений S_t (у третьей, четвертой и пятой конструкции он превышает допустимое значение при $\omega=10$ рад/с) и коэффициентом полезного действия $\eta = 2,5\%$. Оптимальной принята величина $p_{uw}=0,035$ м так как при скорости вращения шнека $10 < \omega < 20$ рад/с кпд принимает максимальные значения.

На рисунке 4 изображена характеристика влияния на кпд прессующего механизма

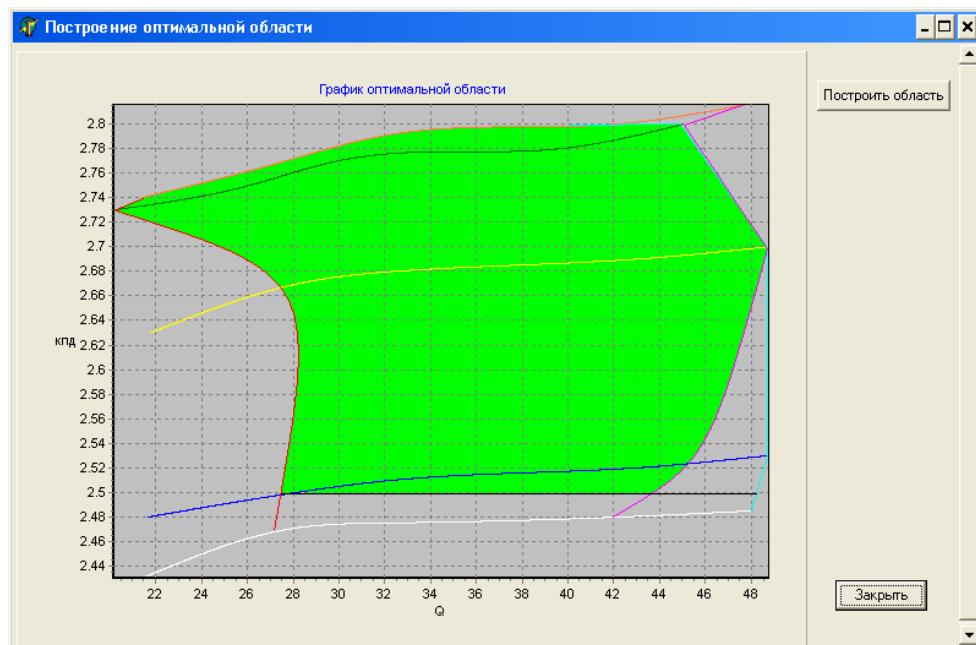


Рисунок 3. Построение оптимальной области при изменении шага винтовой лопасти шнека

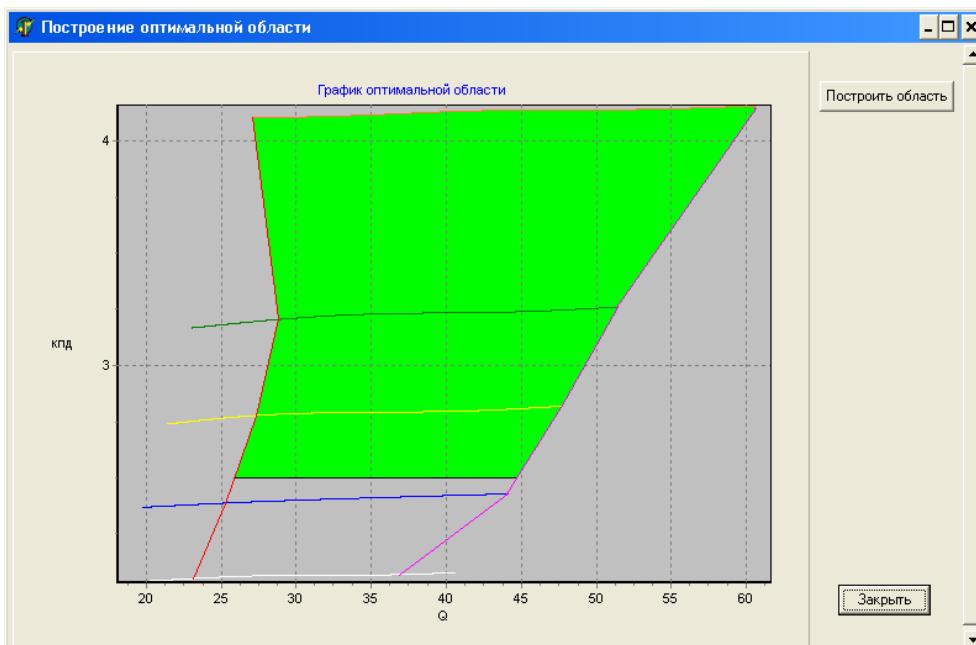


Рисунок 4. Зависимость кпд от производительности при изменении толщины винтовой лопасти шнека

параметра s_{uw} – толщина винтовой лопасти шнека.

Значения параметра s_{uw} выбраны в следующем порядке: $s_{uw1}=0,003$; $s_{uw2}=0,005$; $s_{uw3}=0,007$; $s_{uw4}=0,009$; $s_{uw5}=0,011$ в метрах, значение параметра $P_{uw}=0,035$ м, что соответствует величине, полученной в предыдущем эксперименте.

Оптимальная область на рисунке 4 ограничена диаграммами: $\eta = f(Q)$ при $s_{uw}=0,003$ м, мощностью сил полезного сопротивления N (у пятой конструкции она больше допустимой при $\omega=23$ рад/с); импульсом касательных напряжений S_τ (у второй, третьей, четвертой и пятой конструкций он превышает допустимое значение при $\omega=10$ рад/с) и коэффициентом полезного действия $\eta=2,5\%$. Оптимальной величиной принята $s_{uw}=0,003$ м, так как при всех скоростях вращения шнека КПД принимает максимальные значения.

На рисунке 5 изображена характеристика влияния на КПД прессующего механизма параметра h_{uw} – высоты лопасти шнека.

Значения параметра h_{uw} выбраны в следующем порядке: $h_{uw1}=0,013$; $h_{uw2}=0,012$; $h_{uw3}=0,011$; $h_{uw4}=0,01$; $h_{uw5}=0,014$ в метрах, значения параметров $s_{uw}=0,003$ м, $P_{uw}=0,035$ м, что соответствует их значениям, полученным в предыдущих экспериментах.

Оптимальная область на рисунке 5 ограничена диаграммами: $\eta = f(Q)$ при $h_{uw}=0,013$ м,

импульсом касательных напряжений S_τ (у первой и второй конструкции он меньше допустимого при $\omega=23$ рад/с, у пятой больше допустимого при $\omega=10$ рад/с и $\eta=f(Q)$ при $h_{uw}=0,014$). Оптимальной величиной принята $h_{uw}=0,013$ м т. к. при скоростях вращения шнека $10 < \omega \leq 20$ рад/с КПД принимает максимальные значения.

Анализ оптимальных областей показывает, что оптимальными при данных условиях будут следующие значения параметров: $h_{uw}=0,013$ м, $s_{uw}=0,003$ м, $P_{uw}=0,035$ м.

На рисунке 6 изображена характеристика влияния на КПД прессующего механизма зазора утечек h_y . Значения параметра h_y выбраны в следующем порядке: $h_{y1}=0,0009$; $h_{y2}=0,0005$; $h_{y3}=0,0006$; $h_{y4}=0,0007$; $h_{y5}=0,0008$ в метрах, значения параметров $s_{uw}=0,003$ м, $P_{uw}=0,035$ м, $h_{uw}=0,013$ м.

Оптимальная область на рисунке 6 ограничена диаграммами: $\eta = f(Q)$ при $h_y=0,0008$ м, импульсом касательных напряжений S_τ (у четвертой и пятой конструкций меньше допустимого при $\omega=23$ рад/с); силой, действующей на матрицу R (т. к. у пятой конструкции она больше допустимой при скоростях $\omega=23$ рад/с), и $\eta = f(Q)$ при $h_y=0,0005$. Поскольку ограничения оптимальной области слева нет, мы ее ограничили производительностью $Q=35$ кг/ч. Оптимальной величиной принята $h_y=0,0008$ м, так как при скоростях вращения шнека $10 < \omega \leq 20$ рад/с КПД принимает максимальные значения.

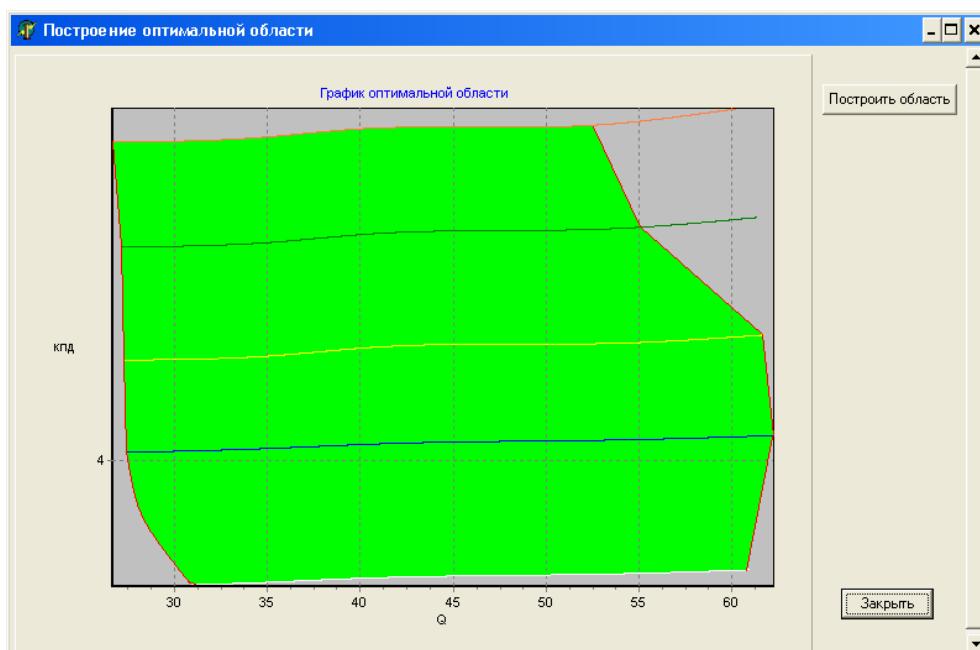


Рисунок 5. Зависимость КПД от производительности при изменении высоты лопасти шнека

При значении $h_y=0,0009$ м наблюдается критический режим работы, резко снижаются производительность и кпд, на рисунке 6 характеристика при $h_y=0,0009$ м сводится к точке в левом нижнем углу.

На рисунке 7 показана характеристика влияния на кпд прессующего механизма высоты компрессионного затвора. Значения параметра h_k выбраны в следующем порядке: $h_{k1}=0,0038$; $h_{k2}=0,004$; $h_{k3}=0,005$; $h_{k4}=0,006$; $h_{k5}=0,007$ м,

значения параметров $s_{uu}=0,003$ м, $p_{uu}=0,035$ м, $h_{uu}=0,013$ м, $h_y=0,0008$ м, что соответствует их значениям, полученным в предыдущих экспериментах.

Оптимальная область на рисунке 7 ограничена диаграммами $\eta = f(Q)$ при $h_k=0,0038$ м, импульсом касательных напряжений S_t (у всех конструкций меньше допустимого при $\omega > 15$ рад/с), $h_k=0,007$ м, $Q = 40$ кг/ч. В данном случае есть еще ограничение по силе, действующей

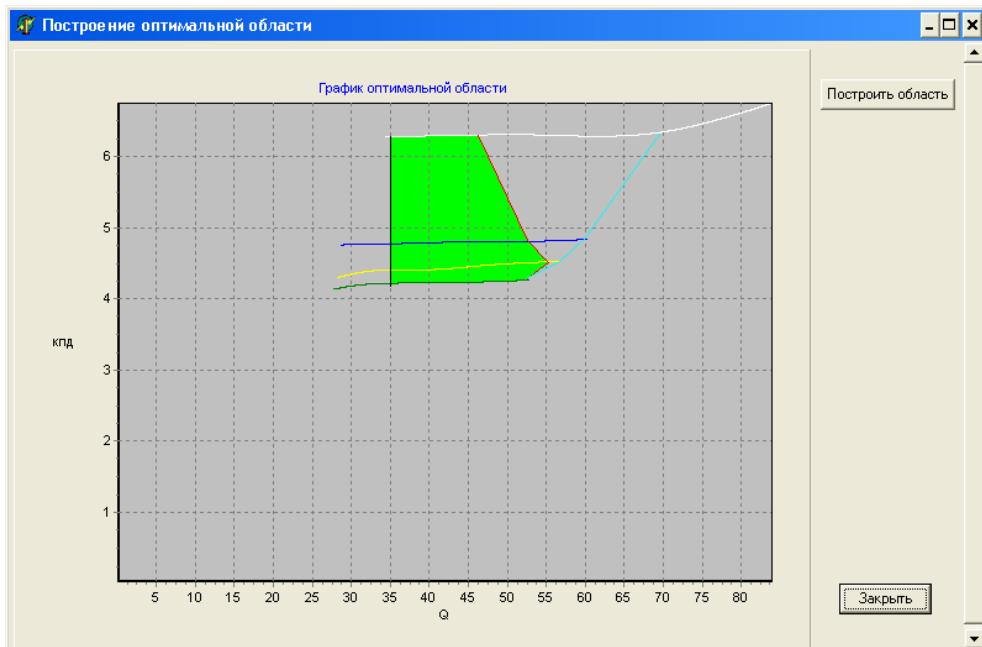


Рисунок 6. Зависимость кпд от производительности при изменении высоты зазора утечек

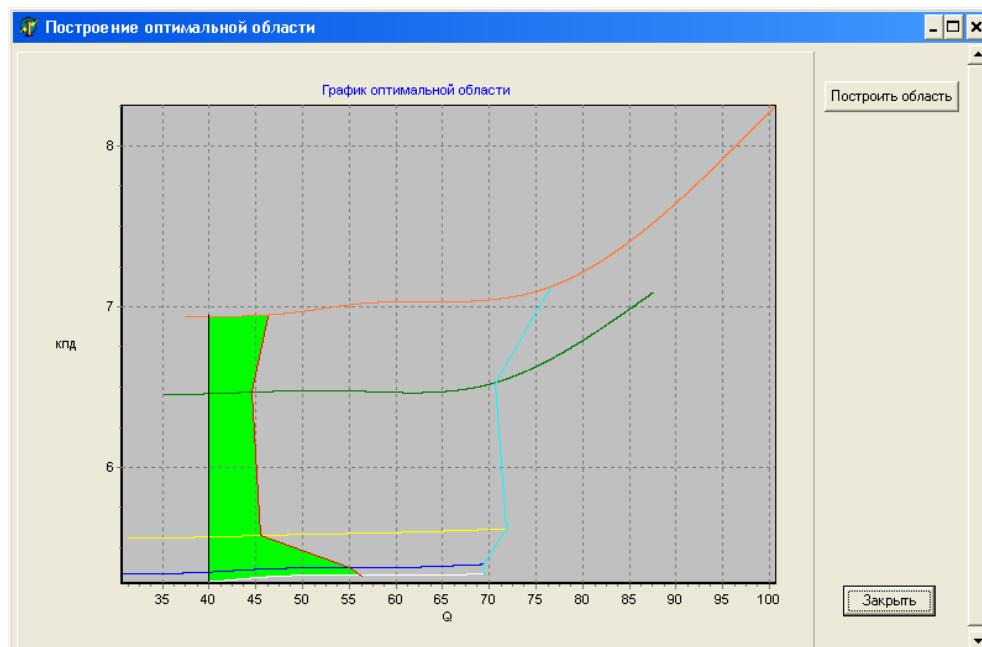


Рисунок 7. Зависимость кпд от производительности при изменении высоты компрессионного затвора

на матрицу R (т. к. у первой и второй конструкции она больше допустимой при скорости $\omega = 23 \text{ рад/с}$), но эти значения не ограничивают оптимальную область. Поэтому оптимальной величиной принято $h_k = 0,0038 \text{ м}$, при значении $h_k < 0,0038 \text{ м}$ наблюдается критический режим работы экструдера. Приняв прежние значения для параметров $s_{uw}, p_{uw}, h_{uw}, h_y$ и $h_k = 0,0038 \text{ м}$, будем варьировать шириной компрессионного затвора x_k .

На рисунке 8 показана характеристика влияния на кпд прессующего механизма ширины компрессионного затвора. Значения параметра x_k выбраны в следующем порядке: $x_{k1} = 0,01; x_{k2} = 0,02; x_{k3} = 0,03; x_{k4} = 0,04; x_{k5} = 0,05 \text{ м}$.

Оптимальная область на рисунке 8 ограничена диаграммами $\eta = f(Q)$ при $x_k = 0,05 \text{ м}$, импульсом касательных напряжений S_t (у первой, второй, третьей конструкций меньше до-

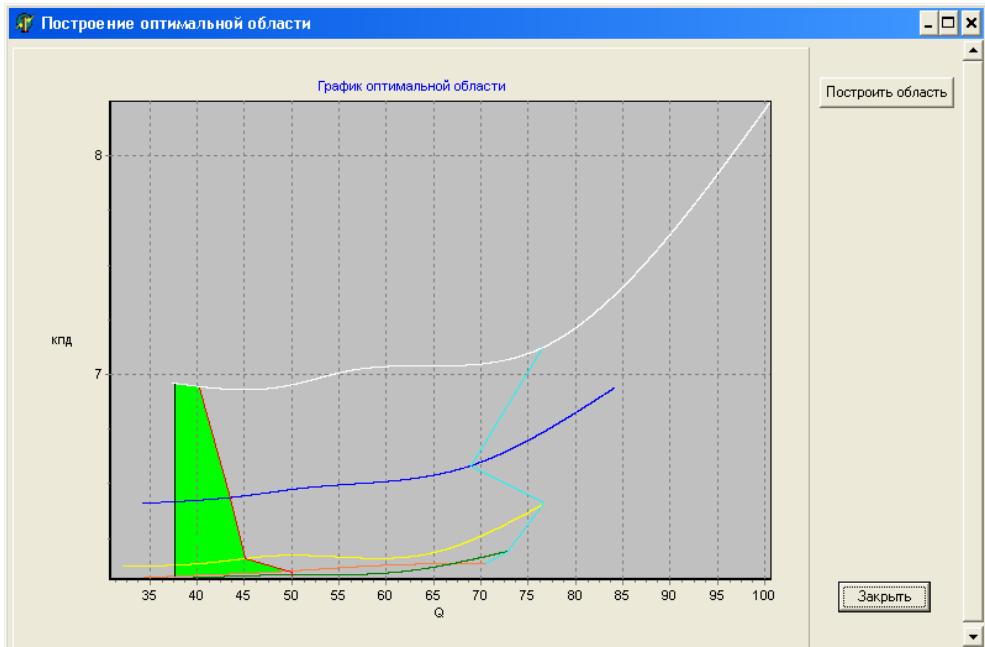


Рисунок 8. Зависимость кпд от производительности при изменении ширины компрессионного затвора

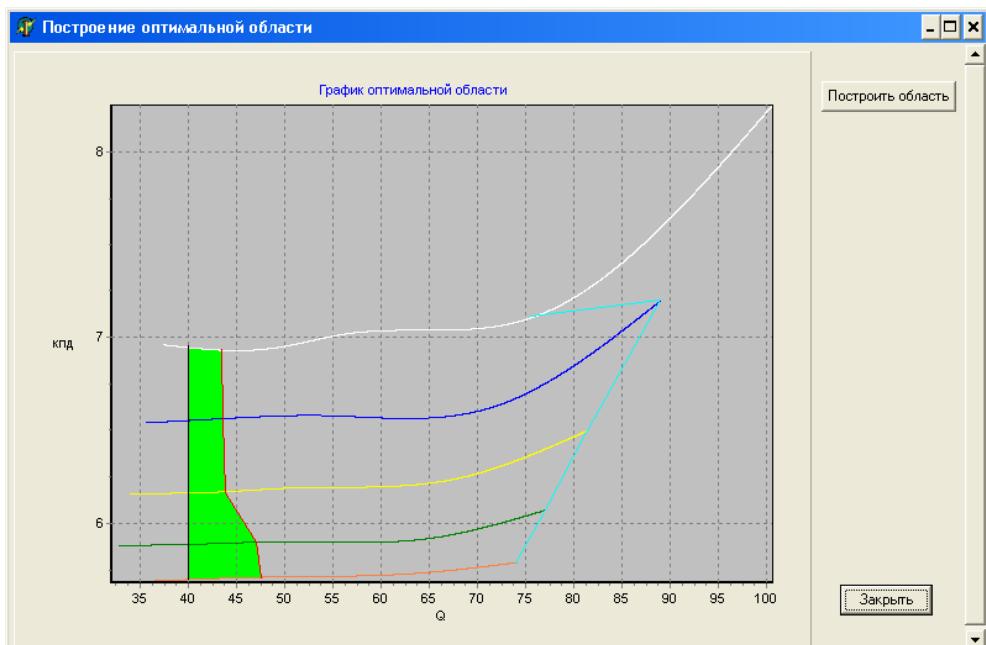


Рисунок 9. Зависимость кпд от производительности при изменении длины фильтры матрицы

пустимого при $\omega > 15$ рад/с, а у четвертой, пятой при $\omega > 13$ рад/с), $x_k = 0,01$ м и $Q = 37$ кг/ч. Есть ограничение по силе, действующей на матрицу R (т. к. у четвертой и пятой конструкций она больше допустимой при скорости $\omega = 23$ рад/с), но эти значения не ограничивают оптимальную область. Поэтому оптимальной величиной принято $x_k = 0,05$ м. При увеличении x_k до 0,07 м наблюдается критический режим – резко снижаются производительность и кпд.

Присвоив всем исследуемым параметрам те же значения и $x_k = 0,05$ м, будем изменять длину фильтры матрицы следующим образом: $z_{M1} = 0,08$; $z_{M2} = 0,085$; $z_{M3} = 0,09$; $z_{M4} = 0,095$; $z_{M5} = 0,1$ в метрах.

На рисунке 9 показана характеристика влияния на кпд прессующего механизма длины фильтры матрицы.

Оптимальная область на рисунке 9 ограничена диаграммами $\eta = f(Q)$ при $z_M = 0,1$ м, импульсом касательных напряжений S_t (у первой, второй конструкций меньше допустимого при $\omega > 15$ рад/с, а у третьей, четвертой, пятой – при $\omega > 13$ рад/с), $Q = 40$ кг/ч. Ограничение по силе, действующей на матрицу R , при $\omega = 23$ рад/с наблюдается только у пятой конструкции, но эти значения не ограничивают оптимальную область. Поэтому оптимальной величиной принято $z_M = 0,1$ м. При увеличении z_M при таком соотношении параметров наблюдается критический режим работы экструдера.

Таким образом, проведенная оптимизация геометрических размеров рабочих органов одноНекового экструдера позволила повысить кпд с 2,8% до 6,8% без изменения энергетических затрат и при сохранении качества выпускемого продукта.

Список использованной литературы:

1. Руднев В.Е., Володин К.М., Лучанский В.Б., Петров В.Б. Формирование технических объектов на основе системного анализа. – М.: Машиностроение, 1991. – 318 с.
2. Зубкова Т.М. Методика оптимизации технологических объектов // Вестник ОГУ. – 2002. – №3. – С. 155-158.
3. Насыров А.Ш., Зубкова Т.М. Оптимизация параметров эффекта технологического объекта / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. 2003. – РОСПАТЕНТ №2003610998.
4. Численные методы анализа / Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. – М.: Наука, 1967. – 368 с.