

- б) для двигателей независимого возбуждения без учета вихревых токов в массивных частях магнитопровода и обмоток, поперечной и коммутационной реакции якоря;
 - в) для двигателей последовательного возбуждения с учетом поперечной реакции якоря и $E_{вр}$.
3. Получены аналитические выражения для определения напряжения на двухполюсниках стали и меди при различных формах пульсационной составляющей входного сигнала.

Литература

1. Бельман М. Х. Определение индуктивных параметров машины постоянного тока с учетом насыщения магнитопровода // Изв. вузов. Электромеханика, 1975. № 3. С. 7–10.
2. Архангельский Б. И. Аналитическое выражение кривой намагничивания электрических машин // Электричество. 1950. № 3. С. 30–32.
3. Гордиенко П. И. Аналитическое выражение кривой намагничивания и индуктивности обмотки возбуждения тяговых двигателей // Труды ЛИИЖТ. 1960. Вып. 123. С. 84–103.
4. Frutt F. C., Erdelyi E. A., Hopkins R. E. Representation of Magnetization Characteristic of D. C. Machines for Computer Use. IEEE Transac. Power Appar. and Syst., 1968. W. 3. P. 665–669.
5. Владимирова Э. Г., Сидельников А. В., Сидельников Б. В., Фетисов В. В. Исследование переходных процессов машин постоянного тока с помощью ЭЦВМ // Труды ЛПИ. 1969. Вып. 301. С. 103–113.

УДК 637.23

**Чеботарев Евгений Алексеевич, Малсугенов Александр Владимирович,
Борисов Александр Тимофеевич**

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ СХЕМ КОМПОНОВКИ РОТОРНО-ПЛАСТИНЧАТОГО ОХЛАДИТЕЛЯ

В статье рассмотрен способ дифференцирования механического воздействия на охлаждаемый продукт, при его обработке в роторно-пластинчатом охладителе. Данный способ заключается в разделении охладителя на три зоны охлаждения. В результате в охладителе возможно применение 125 схем компоновки, 25 из которых признаны нами оптимальными.

Ключевые слова: роторно-пластинчатый охладитель, маслообразователь, схемы компоновки, совершенствование охладителя, дифференцированное охлаждение.

**Evgeny Chebotarev, Aleksandr Malsugenov, Alexandr Borisov
DEVELOPMENT OF EFFICIENT LAYOUTS ROTARY VANE COOLER**

The article was considered a way of differentiating between mechanical impact on the cooled product, when it is processed in the rotary plate cooler. This method is divided cooler three cooling zones. The result can be used in the cooler 125 schemes section 25 of which are considered as optimal.

Key words: rotary vane cooler, butterformer, schemes section, improvement cooler, differentiated cooling.

Роторно-пластинчатые охладители нашли широкое применение при охлаждении вязких пищевых продуктов, кристаллизующихся в процессе охлаждения и, в частности, используются в составе пластинчатых маслообразователей для охлаждения высокожирных сливок перед их дестабилизацией.

Первые пластинчатые маслообразователи были выполнены по соосной схеме, когда на одном валу располагались скребковые ножи охладителя и лопасти обработника [1]. В дальнейшем от такой схемы отказались, поскольку не представлялось возможным дифференцировать механическое воздействие на высокожирные сливки при охлаждении и при обработке.

Современный охладитель маслообразователя представляет собой пакеты чередующихся теплообменных пластин и пластин продуктовых, выполненных в виде распорных колец с уплотняющими прокладками и выносными обрезиненными коллекторами для хладагента. Внутри продуктовых пластин, на приводных валах, установлены крестовины с плавающими скребковыми ножами.

Внутри пластин циркулирует хладоноситель, обеспечивая охлаждение высокожирных сливок. Движение хладоносителя производится параллельным потоком по группам пластин.

Поскольку пакет пластин состоит из пластин, имеющих отверстия для прохода продукта в центре и на периферии, продукт постоянно меняет направление своего движения.

Установленные на скребковом валу крестовины представляют собой металлическую поперечину, на которой закрепляются шарнирно (с возможностью некоторого отклонения) полиамидные ножи, имеющие схожую конструкцию, но отличающиеся расположением крепёжных выступов. Для обеспечения жесткости ножи имеют металлическую закладную деталь.

Целью работы являлось определение энергоэффективных (оптимальных) схем компоновки, позволяющих снизить затраты мощности на перемешивание. Для этого использовали принцип дифференцирования числа скребков на рабочих органах по длине охладителя.

В этом случае весь охладитель разделяется на три примерно равные части (отсеки). Число скребков на рабочих органах в охладителе меняется в следующем порядке: в первом отсеке z_1 , во втором – z_2 и в третьем – z_3 . В каждом из отсеков охладителя, количество скребков постоянно и может принимать значения: 2, 3, 4, 5 и 6. В результате возможно осуществление 125 различных схем компоновок [1].

Определение наиболее эффективных схем компоновок проводилось в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.

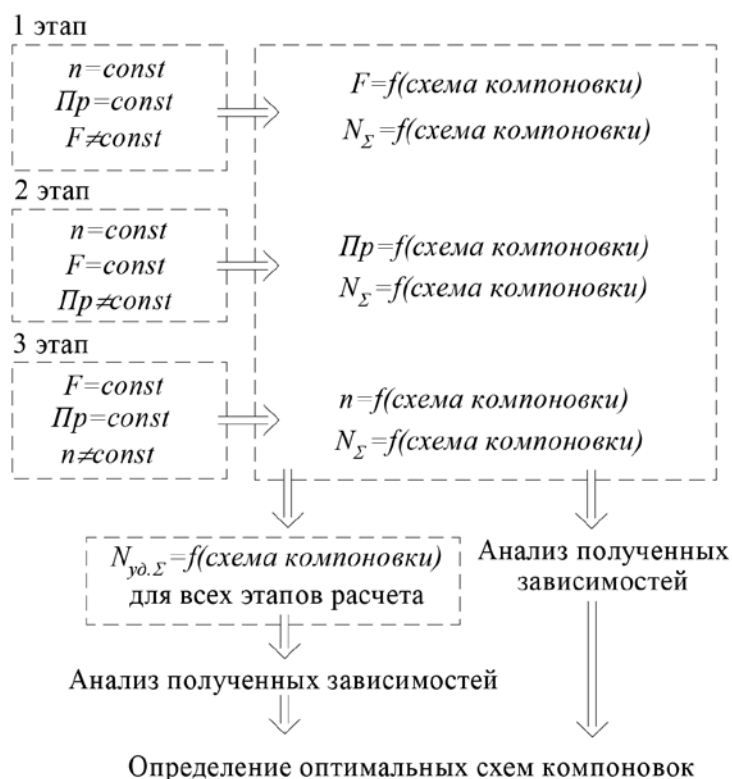


Рис. 1. Алгоритм определения оптимальных (энергоэффективных) схем компоновки роторно-пластинчатого охладителя

Определение энергоэффективных схем компоновок, на первом этапе расчетов проводилось в следующей последовательности:

- с использованием расчетной программы разработанной в программе Excel проведены расчеты роторно-пластинчатого охладителя при $z = z_1 = \text{const}$; $z = z_2 = \text{const}$ и $z = z_3 = \text{const}$;
- методом графических построений получены суммарные графики;
- из полученных графиков, определялась средняя температура продукта в каждом продукто-вом зазоре;
- для каждой схемы компоновки рассчитывали суммарную мощность N_{Σ} , равную сумме мощности, затрачиваемой на вращение рабочих органов $N_{\text{перем}}$ и мощности, потребляемой продуктовым винтовым насосом для перекачивания продукта через охладитель $N_{\text{насос}}$;
- на основе полученных данных построены и проанализированы графики зависимостей $F = f(\text{схема компоновки})$ и $N_{\Sigma} = f(\text{схема компоновки})$.

Исходные данные соответствуют реальному режиму работы пластинчатого маслообразователя типа ОУА в промышленных условиях [2].

Сущность первого этапа расчетов заключается в определении поверхности теплообмена, необходимой для охлаждения продукта до требуемой температуры, при постоянных значениях производительности и частоты вращения рабочих органов.

С целью повышения точности проводимого расчета, полученное значение поверхности теплообмена не округлялось до целого числа охлаждающих пластин.

Данная особенность расчета состоит в следующем. Пусть для некоторой схемы компоновки требуется поверхность теплообмена, равная $n + k$, где n – количество целых пластин; k – остаток.

В этом случае весь охладитель условно рассматриваем состоящим из n обычных продуктовых зазоров и одного «неполного» продуктового зазора с поверхностью теплообмена F' , равной $F' = k \cdot F_o$, где F_o – поверхность теплообмена одной пластины.

Мощность, расходуемая на перемешивание в «неполном» зазоре N' , равна $N' = k \cdot N$, где N – мощность на перемешивание, которая затрачивалась бы в полном зазоре.

Получено, что при всех прочих равных условиях, наименьшее значение мощности соответствует тем схемам компоновки, в которых в первом отсеке на рабочих органах установлено по 2 пары скребков, с увеличением количества скребков увеличивается и потребляемая мощность.

При выполнении второго этапа расчетов определялась производительность, которую обеспечивает охладитель при охлаждении продукта до требуемой температуры, при постоянных значениях частоты вращения скребкового вала и количества охлаждающих пластин.

Расчет полностью проводился с использованием расчетной программы, разработанной в Excel. Исходные данные соответствовали реальному режиму работы пластинчатого маслообразователя типа ОУА в промышленных условиях [2].

Третий этап расчетов проводился аналогично второму, с той лишь разницей, что постоянными параметрами являлись количество охлаждающих пластин и производительность.

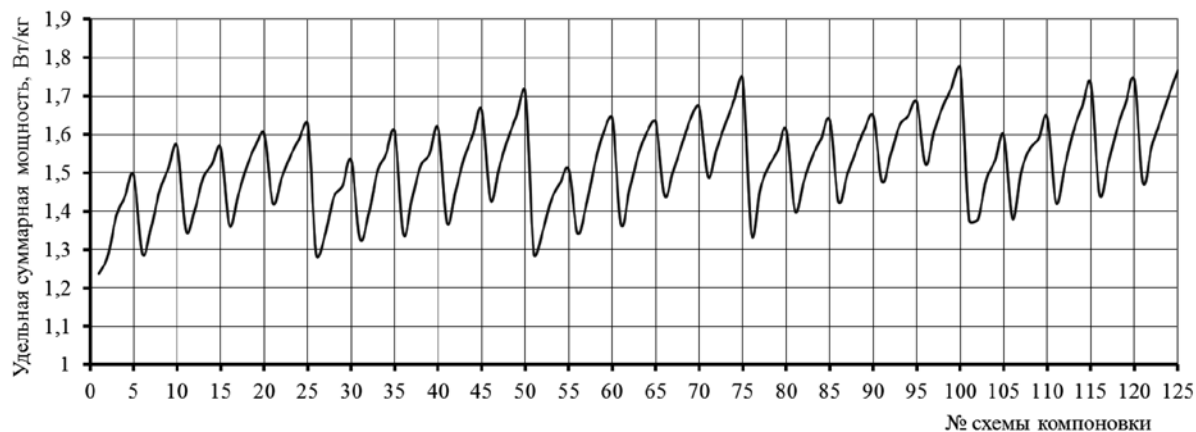
Сущность проводимого расчета заключалась в определении частоты вращения вала охладителя, которая обеспечивает требуемую температуру продукта на выходе из аппарата, для каждой схемы компоновки [3].

Третий этап расчета позволил сделать следующие выводы:

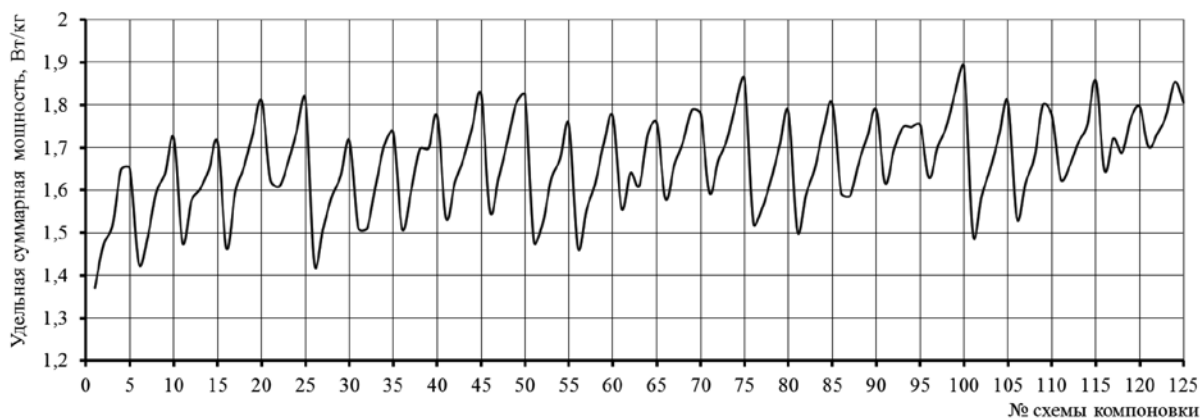
- отношение суммарных потребляемых мощностей в наиболее и наименее энергоэкономичных схемах компоновки довольно значительное (1,4...1,5), что подтверждает актуальность проводимых расчетов;
- наименьшее значение мощности, соответствует тем схемам компоновки, в которых в последнем отсеке на рабочих органах установлено по 6 пар скребков.

Для сравнения данных, полученных на различных этапах оптимизации, были построены графики зависимостей удельной суммарной мощности, затрачиваемой на охлаждение 1 кг продукта, от схемы компоновки охладителя (рис. 2).

Из графиков, представленных на рис. 2, видно, что на всех 3 этапах расчетов есть свои наиболее и наименее энергоэкономичные схемы компоновки, однако на 3-м этапе расчетов, оптимальным схемам компоновки соответствуют минимальные значения удельной суммарной мощности.



a



б

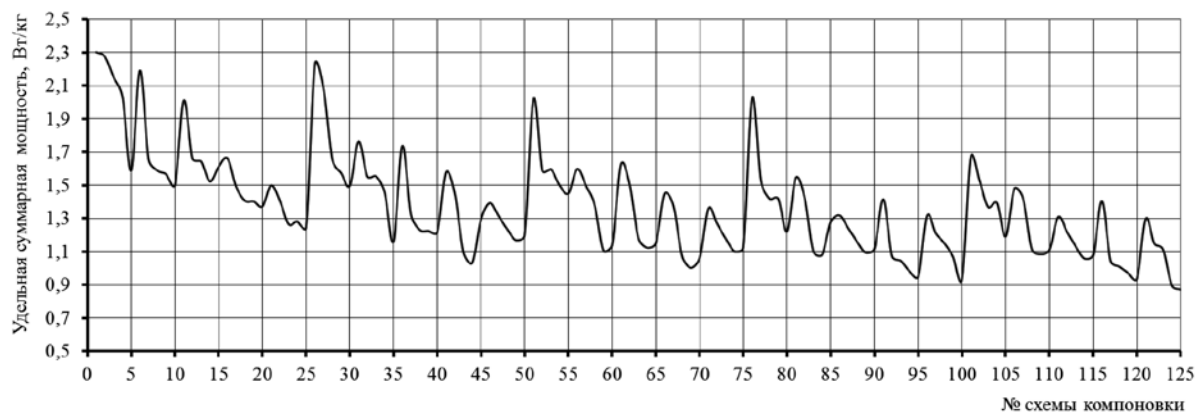


Рис. 2. Графики зависимостей удельной суммарной мощности от схемы компоновки охладителя: а) $n = \text{const}$; $\Pi_p = \text{const}$; $F \neq \text{const}$; б) $n = \text{const}$; $F = \text{const}$; $\Pi_p \neq \text{const}$; в) $F = \text{const}$; $\Pi_p = \text{const}$; $n \neq \text{const}$.

Таким образом, из всех схем компоновок как наиболее экономичных с точки зрения энергетических затрат можно рекомендовать схемы, обеспечивающие более интенсивную теплопередачу при прочих равных условиях. Таких схем нами было выявлено 25 (таблица 1).

Таблица 1

Энергоэффективные схемы компоновки

Количество пластин в холодильнике	Схемы компоновки
10	2–2–6
11	2–3–6, 3–2–6
12	2–4–6, 3–3–6, 4–2–6
13	2–5–6, 3–4–6, 4–3–6, 5–2–6
14	2–6–6, 3–5–6, 4–4–6, 5–3–6, 6–2–6
15	3–6–6, 4–5–6, 5–4–6, 6–3–6
16	4–6–6, 5–5–6, 6–4–6
17	5–6–6, 6–5–6
18	6–6–6

По результатам работы была запатентована конструкция охладителя сливок к маслообразователю [4]. Схема охладителя показана на рис. 3.

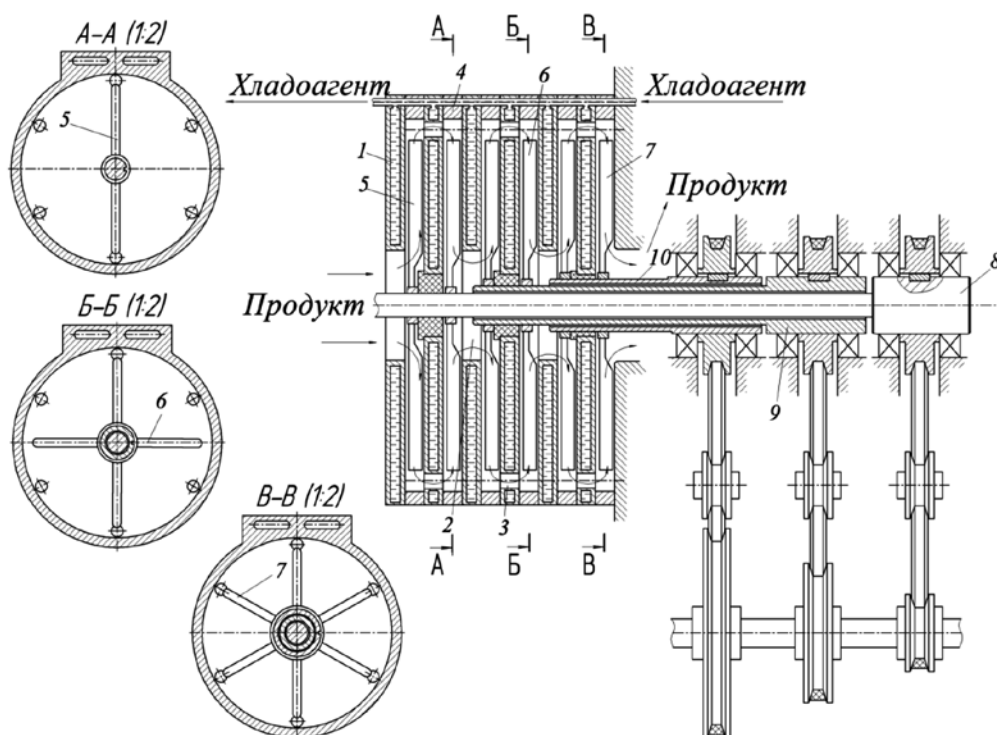


Рис. 3. Общий вид роторно-пластинчатого охладителя с возможностью дифференцирования числа скребков и частоты вращения рабочих органов по длине аппарата:

1 – охлаждающая пластина; 2 – центральное отверстие для прохода продукта; 3 – периферийные отверстия для прохода продукта; 4 – продуктовая секция; 5, 6, 7 – рабочие органы; 8, 9, 10 – валы

Охладитель состоит из чередующихся охлаждающих пластин, имеющих центральные и периферийные отверстия, и продуктовых секций, внутри которых установлены турбулизаторы со скребковыми ножами, причем число скребковых ножей, установленных на турбулизаторах, увеличивается по ходу движения продукта, а турбулизаторы установлены с возможностью увеличения частоты вращения по ходу движения продукта за счет снабжения охладителя несколькими ведущими валами, расположенными один внутри другого.

Таким образом, применение рациональных схем компоновки роторно-пластинчатого охладителя позволяет более эффективно перераспределить интенсивность механического воздействия по длине охладителя.

Следовательно, дифференцирование частоты вращения рабочих органов по длине аппарата (с целью снижения затрат мощности на перемешивание) должно соответствовать распределению интенсивности механического воздействия при использовании эффективных схем дифференцирования числа скребков по длине аппарата.

Литература

1. Малсугенов А. В. Пластинчатые маслообразователи и их совершенствование: монография. Ставрополь: Ставропольское книжное издательство «Мысль», 2011. 94 с.
2. Вышемирский Ф. А. Маслоделие в России (история, состояние, перспектива). Углич: Рыбинский Дом Печати, 1988. 591 с.
3. Малсугенов А. В. Исследование процесса охлаждения в пластинчатых маслообразователях с целью совершенствования их конструкции и технологических параметров работы: дисс. ... канд. техн. наук / А. В. Малсугенов. Ставрополь, 2009. 189 с.
4. Пат. № 2332843 Российская Федерация, МПК А01J 15/12. Охладитель сливок к маслообразователю / Чеботарев Е. А., Малсугенов А. В.; Заявл. 05.03.07; опубл. 10.09.08, Бюл. №25.