
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ

УДК 531.01

Н.П. Кадочникова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МЕХАНИЗМА ДЛЯ РЕЗКИ МЕТАЛЛА

Рассмотрен механизм ножниц для резки металла и проведено исследование.

Ключевые слова: сила, механическая система, скорость.

N.P. Kadochnikova

DYNAMIC CALCULATION MECHANISM OF METAL SCISORS

The article deals with the mechanism of metal scissors and research has been carried out.

Key words: power, mechanical system, speed.

Механизм ножниц для резки металла состоит из кривошипно-шатунного механизма OAB , к которому прикреплен подвижный нож. Масса корпуса ножниц m . Кривошип OA , шатун AB однородные стержни одинаковой длины l и массой m каждый. Масса подвижного конца m_2 .

Кривошип OA равномерно вращается с угловой скоростью ω . Трением между корпусом ножниц и фундаментом пренебречь.

Определить. Наибольшее вертикальное и горизонтальное давление на болты.

Угловую скорость, при которой вертикальные силы, растягивающие болты, равны весу ножниц.

Рассмотрим механическую систему механизма ножниц (рис. 1).

Покажем внешние силы, действующие на систему:

$m\bar{q}$, $m_1\bar{q}$, $m_1\bar{q}$, $m_2\bar{q}$ – силы тяжести корпуса, кривошипа OA ,

шатун AB , подвижного конца, \bar{N} – вертикальное давление на болты, \bar{F} – горизонтальное давление на болты. Воспользуемся теоремой об изменении количества движения системы в проекциях на оси x , y .

$$\frac{dQ_x}{dt} = \sum F_{kx}^e; \quad \frac{dQ_y}{dt} = \sum F_{ky}^e;$$

$$\frac{dQ_x}{dt} = -F; \quad \frac{dQ_y}{dt} = -mq - 2m_1q + N - m_2q,$$

Q_x, Q_y – количества движения системы в проекциях на оси x , y .

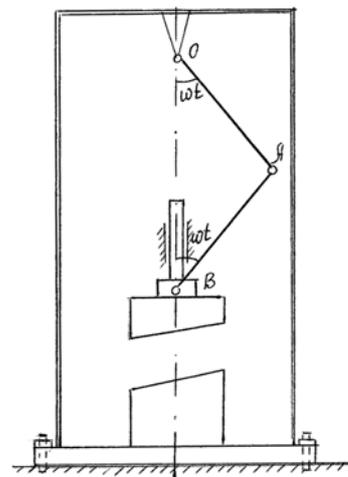


Рис. 1. Схема механизма
Fig.1. Scheme of mechanism

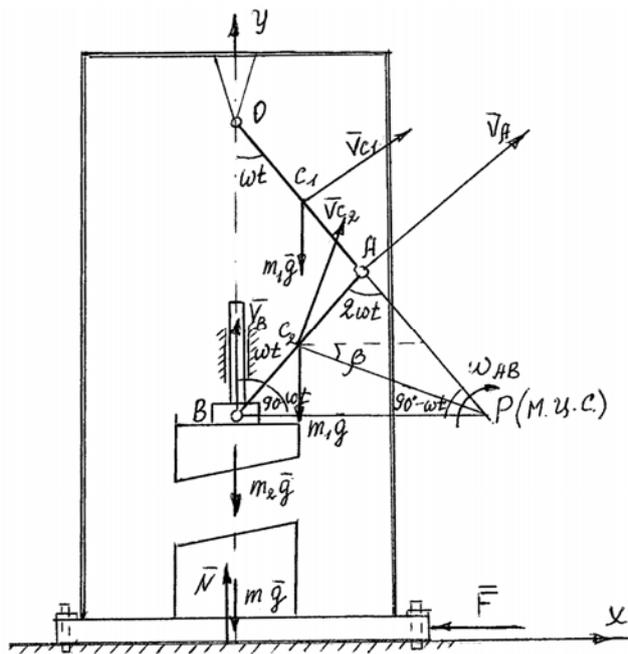


Рис. 2. Скорости точек, силы
Fig. 2. Speeds points, powers

$Q_x = m_1 V_{c_1x} + m_1 V_{c_2x} + m_2 V_{Bx}$.
 $Q_y = m_1 V_{c_1y} + m_1 V_{c_2y} + m_2 V_{By}$.
 $V_{c_1y}, V_{c_2y}, V_{By}$ – проекции скоростей центров масс кривошипа, шатуна, подвижного конца ножниц на ось y .
 $Q_x = m_1 V_{c_1} \cos \omega t + m_1 V_{c_2} \sin \beta$.
 $Q_y = m_1 V_{c_1} \sin \omega t + m_1 V_{c_2} \cos \beta + m_2 V_B$.
 Кривошип OA – вращательное движение

$$V_{c_1} = \omega \cdot \frac{l}{2}.$$

Шатун AB – плоское движение. Точка P – мгновенный центр скоростей, лежит на пересечении перпендикуляров к линиям скоростей \vec{V}_A, \vec{V}_B , проведенным из точек A и B (рис. 2).

Определим ω_{AB}, V_{C_2} .

$$\omega_{AB} = \frac{V_A}{AP} = \frac{\omega \cdot l}{l} = \omega; \quad V_{C_2} = \omega_{AB} \cdot PC_2 = \omega \cdot PC_2.$$

Определим $\sin \beta$ по теореме синусов из треугольника C_2BP :

$$\frac{PC_2}{\sin(90^\circ + \omega t)} = \frac{l/2}{\sin \beta}; \quad \sin \beta = \frac{l/2 \cdot \sin(90^\circ + \omega t)}{PC_2} = \frac{l/2 \cos \omega t}{PC_2}.$$

PC_2 определим по теореме косинусов из треугольника C_2BP :

$$PC_2 = \sqrt{l^2 + \frac{l^2}{4} - 2 \cdot \frac{l}{2} \cdot l \cos 2\omega t} = \sqrt{\frac{5l^2}{4} - l^2 \cos 2\omega t}.$$

$$\begin{aligned} \cos \beta &= \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \sqrt{1 - \frac{\frac{l^2}{4} \cos^2 \omega t}{PC_2^2}} = \frac{1}{PC_2} \sqrt{PC_2^2 - \frac{l^2}{4} \cos^2 \omega t} = \\ &= \frac{1}{PC_2} \sqrt{\frac{9l^2}{4} - \frac{9l^2}{4} \cos^2 \omega t} = \frac{1}{PC_2} \cdot \frac{3l}{2} \sqrt{1 - \cos^2 \omega t} = \frac{1}{PC_2} \cdot \frac{3l}{2} \sin \omega t. \end{aligned}$$

PB определим по теореме синусов:

$$\frac{PB}{\sin 2\omega t} = \frac{l}{\sin(90^\circ - \omega t)}; \quad PB = \frac{l \sin 2\omega t}{\sin(90^\circ - \omega t)} = \frac{l \cdot 2 \cancel{\cos \omega t} \cdot \sin \omega t}{\cancel{\cos \omega t}} = 2l \sin \omega t.$$

$$Q_x = m_1 V_{c_1} \cdot \cos \omega t + m_1 V_{c_2} \sin \beta = m_1 \cdot \frac{\omega l}{2} \cos \omega t + m_1 \omega \cdot \cancel{PC_2} \frac{\frac{l}{2} \cos \omega t}{\cancel{PC_2}} = \frac{3}{4} m_1 \omega l \cos \omega t.$$

$$Q_y = m_1 V_{C_1} \cdot \sin \omega t + m_1 V_{C_2} \cos \beta + m_2 V_B = m_1 \omega \cdot \frac{l}{2} \sin \omega t + m_1 \omega \cdot \frac{3l}{2} \sin \omega t + m_2 l \cdot 2 \sin \omega t =$$

$$= (m_1 + m_2) 2l \omega \sin \omega t .$$

Найдем $\frac{dQ_x}{dt}$, $\frac{dQ_y}{dt}$.

$$\frac{dQ_x}{dt} = \left(\frac{3}{4} m_1 \omega l \cos \omega t \right)' = -\frac{3}{4} m_1 \omega^2 l \sin \omega t .$$

$$\frac{dQ_y}{dt} = \left((m_1 + m_2) 2l \omega \sin \omega t \right)' = (m_1 + m_2) \cdot 2l \omega^2 \cos \omega t .$$

Все подставим в теорему об изменении количества движения системы в проекциях на оси x и y и определим давление на болты.

$$F = -\frac{dQ_x}{dt} .$$

$$F = \frac{3}{4} m_1 \omega^2 l \sin \omega t . \quad F_{\max} = \frac{3}{4} m_1 \omega^2 l . \quad -1 \leq \sin \omega t \leq 1 .$$

Горизонтальное давление на болты:

$$N = m q + 2m_1 q + m_2 q + \frac{dQ_y}{dt} .$$

$$N = m q + 2m_1 q + m_2 q + (m_1 + m_2) \cdot 2l \omega^2 \cos \omega t . \quad -1 \leq \cos \omega t \leq 1 .$$

Наибольшее вертикальное давление на болты при $\omega t = 0$:

$$N_{\max} = m q + 2m_1 q + m_2 q \pm (m_1 + m_2) \cdot 2l \omega^2 .$$

Определим угловую скорость, при которой вертикальные силы, растягивающие болты, равны весу ножниц, т.е.

$$N_{\min} = m q + m_2 q - \text{вес ножниц} .$$

$$m q + m_2 q = m q + 2m_1 q + m_2 q - (m_1 + m_2) \cdot 2l \omega^2 .$$

$$\omega = \sqrt{\frac{m_1 q}{(m_1 + m_2) \cdot 2l}} .$$

В статье рассмотрен механизм ножниц для резки металла и проведено исследование его движения с применением теоретической механики.

Список литературы

1. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Наука, 2003. – 416 с.
2. Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике / под ред. А.А. Яблонского. 15-е изд., стереотип. – М.: Интеграл-Пресс, 2006. – 384 с.

Сведения об авторе: Кадочникова Нина Павловна, доцент.

УДК 669.048

Т.Е. КоршуноваДальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б**СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПРИНЦИПОВ КЛАССИФИКАЦИИ
И МАРКИРОВКИ СТАНДАРТНЫХ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ**

Рассмотрены особенности классификации и маркировки стандартных сплавов алюминия, разработан единый подход к принципам классификации, маркировки и расшифровки стандартных сплавов алюминия.

Ключевые слова: сплавы алюминия, классификация, маркировка.

T.E. Korshunova**ORDERING OF PRINCIPLES OF CLASSIFICATION
AND MARKS OF STANDARD ALLOYS OF ALUMINIUM**

In article the features of classification and marks of standard alloys of aluminium are considered, the uniform approach to principles of classification, marks and decoding of standard alloys of aluminium is developed.

Key words: alloys of aluminium, classification, marks.

Многолетний опыт работы в области материаловедения и технологии конструкционных материалов, а также подробный анализ государственных стандартов, технической документации, справочников, монографий и других первоисточников показал, что до настоящего времени не существует однозначных классификаций и единых принципов расшифровки марок широко используемых промышленных сплавов алюминия [1-14 и др.]. Такое положение дел в значительной мере затрудняет работу специалистов с технической документацией, производителями и поставщиками сплавов, заказчиками; приводит к взаимному непониманию заинтересованных сторон и, как следствие, влечет за собой дополнительные затраты времени, денежных средств, препятствуя успешной деятельности промышленных предприятий по изготовлению или ремонту транспортных и технологических машин и оборудования, судостроения и судоремонта, автомобилестроения и др.

Не менее важным является правильное понимание конструкционных материалов на этапе овладения профессиями технического профиля, когда идет первичное ознакомление с различными сплавами на дисциплинах математического и естественного цикла, продолжается их изучение, используются полученные знания на дисциплинах профессионального цикла, от чего в конечном итоге зависит компетентность и профессионализм специалистов.

В связи с вышеизложенным целью настоящей работы является разработка системного подхода к классификации и маркировке стандартных сплавов алюминия, оговоренных государственными стандартами Российской Федерации [1, 2].

На сегодняшний день существует довольно много классификаций сплавов алюминия: по технологическим свойствам, по способности к упрочнению термической обработкой, по химическому составу, по назначению и другим признакам, из которых только три являются однозначными и вполне обоснованными.

Классификации сплавов по технологическим свойствам и способности термически упрочняться не вызывают сомнений, так как вытекают из диаграммы состояния алюминиевых сплавов (рисунок) [5].

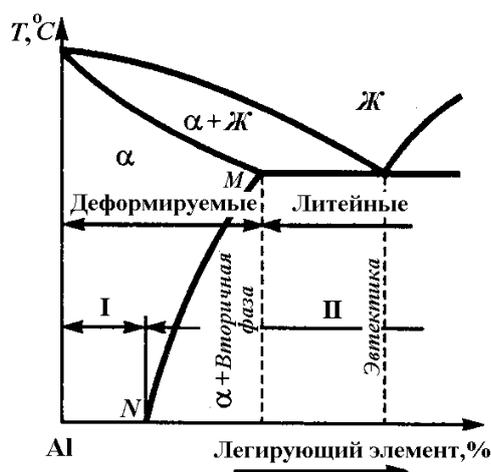


Схема диаграммы состояния сплавов алюминий-легирующий элемент:

- I – сплавы, не упрочняемые термической обработкой;
 II – сплавы, упрочняемые термической обработкой
- The scheme of the diagramme of a condition of alloys aluminium-alloying an element:
 I – alloys not strengthened by thermal processing;
 II – alloys strengthened by thermal processing

Согласно диаграмме условно все сплавы алюминия по технологическим свойствам можно разделить на литейные, предназначенные для производства отливок, и деформируемые – для изготовления проката и поковок (листов, прутков и т.д.) [3-9 и др.]. Граница между сплавами этих двух групп определяется пределом насыщения твердого раствора при эвтектической температуре (рисунок, точка *M*). Изменение технологических свойств (литейных и деформируемости) в сопоставлении с диаграммой состояния показывает, что сплавы с содержанием компонента меньше предела растворимости при высокой температуре обладают наибольшей пластичностью и наименьшей прочностью, т. е. хорошо подвергаются обработке давлением. Присутствие эвтектики в сплавах, по содержанию легирующих элементов находящихся правее точки *M*, значительно снижает их пластичность, и обработка таких сплавов пластическим деформированием становится невозможной из-за опасности разрушения или разрушения обрабатываемых заготовок, но образующаяся эвтектика обеспечивает им хорошие литейные свойства.

Классификация по способности сплавов алюминия к упрочнению термической обработкой не менее важна, поскольку, если все литейные сплавы алюминия термически упрочняются, деформируемые подразделяются на термически не упрочняемые и термически упрочняемые. Деление алюминиевых деформируемых сплавов по способности упрочняться термической обработкой также объяснимо при рассмотрении диаграммы. Сплавы с концентрацией легирующих элементов ниже предела растворимости (рисунок, точка *N*) имеют однофазную структуру α и поэтому не могут быть термически упрочнены. Сплавы с концентрацией легирующих элементов больше *N* претерпевают фазовые превращения с выделением из твердого раствора вторичных фаз и соответственно термически упрочняются.

Классификация алюминиевых сплавов по химическому составу предусмотрена действующими государственными стандартами и, несомненно, должна соблюдаться. Однако следует отметить, что ряд специалистов позволяет себе подразделять алюминиевые сплавы по химическому составу по своему усмотрению, нарушая государственные стандарты. Например, сплавы марок АК6, АК8 по ГОСТу [1] относятся к сплавам системы алюминий-медь-магний, а по первоисточнику [6] – к сплавам системы алюминий-медь-магний-кремний. Несомненно, что ориентироваться необходимо на государственный стандарт.

Вместе с классификациями алюминиевых сплавов по основным признакам заводы-производители, поставщики, научные подразделения создают свои классификации по целому ряду других признаков. Например, по способу упрочнения (сплавы, упрочняемые давлением, и сплавы, упрочняемые термообработкой), по основным свойствам или по назначению (низкопрочные, высокопрочные, средней прочности, высокой пластичности, жаропрочные, свариваемые, повышенной коррозионной стойкости, криогенные, декоративные и др.). Проблема в том, что многие из этих классификаций не согласуются между со-

бой, носят бессистемный характер и не являются однозначными, что затрудняет возможность получить полное представление о том или ином сплаве и в конечном итоге использовать его в нужных целях.

Таким образом, научно обоснованы и бесспорны только три классификации сплавов алюминия, которые можно принять как основные. В случае же необходимости классифицировать алюминиевый сплав по назначению, по основным свойствам или каким-либо другим признакам стоит воспользоваться нормативно-технической и конструкторской документацией, государственными стандартами.

К сожалению, в государственных стандартах на сплавы алюминия не уделено должное внимание принципам их маркировки, что, вероятно, и является причиной противоречивых трактовок и подходов к расшифровке марок алюминиевых сплавов. На сегодняшний день маркировка сплавов алюминия бессистемна и может быть буквенной, буквенно-цифровой и цифровой.

Цифровая маркировка вызывает много вопросов. Что касается первой в марке цифры 1, означающей, что это сплав алюминия, и двух последних, обозначающих условный номер сплава, разночтений нет. Также общепринято, что если последняя цифра марки нечетная, то сплав является деформируемым, если четная – литейным. Неоднозначна трактовка второй цифры марки. В таблице представлен сравнительный анализ значений второй цифры в цифровых марках деформируемых сплавов алюминия по данным из различных источников.

**Сравнительный анализ значений второй цифры
в цифровых марках деформируемых сплавов алюминия
The comparative analysis of values of the second figure in digital marks
of deformable alloys of aluminium**

Значение второй цифры в цифровых марках деформируемых сплавов алюминия					
Обозначение второй цифры марки	Какую группу легирующих элементов в сплаве характеризует вторая цифра (по данным из различных источников)				
	Гелин Ф.Д., Чаус А.С. [6]	Афонин В.К., Ермаков Б.С., Лебедев Е.Л. и др. [10]	Группа компаний ЗАО «Ступинский Торговый дом» [11]	Цифровая маркировка алюминиевых сплавов [12]	ООО «Металлкомплект» [13]
0	Чистый Al	Чистый Al	Чистый Al, спеченные сплавы Al (CAC)	Чистый Al	Чистый Al, порошковые сплавы Al
1	Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Fe-Ni	Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Fe-Ni	Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mn	Al-Cu-Mg	Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Fe-Ni
2	Al-Cu-Mn, Al-Cu-Li-Mn-Cd	Al-Cu-Mn, Al-Cu-Li-Mn-Cd	Al-Cu	Al-Cu-Mn, Al-Cu-Li-Mn-Cd	Al-Cu-Mn, Al-Cu-Li-Mn-Cd
3	Al-Si, Al-Mg-Si, Al-Mg-Si-Cu	Al-Si, Al-Mg-Si, Al-Mg-Si-Cu	Al-Mg-Si	Al-Mg-Si	Al-Si, Al-Mg-Si, Al-Mg-Si-Cu, Порошковые сплавы Al (CAC)
4	Al-Mn, Al-Cr, Al-Be	Al-Mn, Al-Be-Mg, Al-Li	Al-Mn, Al-Cr, Al-Zr, Al-Li	Нет данных	Al-Mn, Al-Be-Mg, Al-Li
5	Al-Mg	Al-Mg	Al-Mg	Нет данных	Al-Mg
9	Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu	Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu	Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu	Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu	Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu
6, 7, 8	Резервные	Резервные	Резервные	Резервные	Резервные
Если в начале обозначения марки цифрами добавляется цифра «0» и номер сплава становится пятизначным, то это означает, что сплав опытный и в серийном производстве не используется					

Запоминать, какие химические элементы содержатся в данном сплаве в соответствии со второй цифрой марки, и учитывать, что здесь могут быть разночтения, весьма затруднительно. Возьмем для примера сплав марки 1201 (ГОСТ 4784-97). Согласно принципам расшифровки цифровых марок первая цифра 1 означает, что это алюминиевый сплав, третья и четвертая цифры 01 являются номером сплава, а вот вторая цифра 2, показывающая основные химические элементы, находящиеся в сплаве, может указывать, по разным данным (таблица), что в рассматриваемом сплаве основными элементами могут быть или Al-Cu-Mn, или Al-Cu-Li-Mn-Cd, или Al-Cu. Совершенно очевидно, что пользоваться такой несовершенной цифровой маркировкой по возможности не следует.

Как уже было сказано выше, маркировка сплавов алюминия на сегодняшний день бессистемна. Систематизировать ее, на наш взгляд, можно, воспользовавшись буквенно-цифровой маркировкой, как наиболее удобной, соблюдая некоторые правила.

В соответствии с ГОСТом по химическому составу различают деформируемые сплавы следующих систем:

- алюминий (АД000, АД00, АД0, АД1, АД);
- алюминий-медь-магний (Д1, Д16, В65, АК4, АК8, 1105);
- алюминий-медь-марганец (1201);
- алюминий-марганец (АМц);
- алюминий-магний (АМг2, АМг6);
- алюминий-магний-кремний (АД31, АД35, АВ);
- алюминий-цинк-магний (В95, В95-1, АЦпл, 1915, 1925).

Используя буквенно-цифровую маркировку, принимаем следующие правила:

- если марка состоит из букв АД со стоящими за ними цифрами 0 или 1, то это означает, что сплав является техническим чистым алюминием, а цифры 0 или 1 обозначают условный номер сплава (АД00, АД1). Исключение из этого правила составляет сплав марки АД;

- буквой Д в начале марки обозначают дуралюмины – деформируемые упрочняемые термической обработкой сплавы системы алюминий-медь-магний (Д1, Д16). Следующие за буквой Д цифры указывают на условный номер сплава. Исключение из этого правила составляет дуралюмин марки В65;

- буквами АК в начале марки обозначают ковочные сплавы – деформируемые упрочняемые термической обработкой сплавы системы алюминий-медь-магний (АК4, АК6). Следующие за буквами АК цифры указывают на условный номер сплава;

- буквами АМц в начале марки обозначают деформируемые не упрочняемые термической обработкой сплавы системы алюминий-марганец (АМц). Исключение из этого правила составляют сплавы марок ММ и Д12;

- буквами АМг в начале марки обозначают деформируемые не упрочняемые термической обработкой сплавы системы алюминий-магний (АМг2, АМг4). Следующие за буквами АМг цифры показывают процентное содержание в сплаве магния;

- буквами АД в начале марки со стоящими за ними цифрами обозначают авиали – деформируемые упрочняемые термической обработкой сплавы системы алюминий-медь-кремний (АД31, АД35). Следующие за буквами АД цифры указывают на условный номер сплава. Отличить эти сплавы от технического алюминия можно по марке следующим образом: в марках авиалей следующая за буквами АД стоит цифра 3, тогда как в марках технического алюминия за буквами АД ставятся цифры 1 или 0. Исключение из правила маркировки авиалей составляет сплав марки АВ;

- буквой В в начале марки и стоящими за ней цифрами обозначают высокопрочные алюминиевые сплавы системы алюминий-цинк-магний (В95, В95-2). Следующие за буквой В цифры указывают на условный номер сплава. Отличить эти сплавы от дуралюмина марки В65 можно по следующему признаку: в марках высокопрочных сплавов следующая

за буквой В всегда стоит цифра 9. Исключение из правила маркировки высокопрочных сплавов составляет сплав марки АЦпл.

Марки сплавов, исключенные из правил расшифровки марок, следует просто запомнить как исключение.

Характеристики сплавов, которые в ГОСТе обозначаются только цифровой маркировкой, учитывая ее несовершенство, после предварительной приблизительной оценки по цифровой марке, следует уточнять, используя ГОСТы, сопроводительные сертификаты на материалы, официальные документы отрасли или предприятия.

Литейные сплавы алюминия согласно государственному стандарту [2] классифицируются по химическому составу. Различают следующие пять систем (групп):

- 1) алюминий-кремний-магний;
- 2) алюминий-кремний-медь;
- 3) алюминий-медь;
- 4) алюминий-магний;
- 5) алюминий-прочие компоненты.

Сплавы первой и второй систем относятся к группе сплавов, называемых силуминами (содержание кремния 4-13 %).

Сплавы четвертой группы называют магналии.

Сплавы пятой группы марок АК7Ц9(АЛ11) и АК9Ц6(АК9Ц6р) из-за высокого содержания кремния (6-10 %) и цинка (5-12 %) называют цинковыми силуминами.

В соответствии с ГОСТ 1583-93 литейные сплавы алюминия обозначаются буквенно-цифровой маркировкой (АК5М3, АК7, АМг5К, АМг10, АЦ4Мг). Первая буква А в марке означает, что это сплав алюминия. Последующие буквы марки обозначают основные химические элементы, находящиеся в сплаве¹. Цифры, стоящие за буквами, обозначающими легирующие элементы, показывают их среднее содержание в процентах.

Однако при таком способе маркировки сплавов не исключена возможность ошибочно литейный сплав принять за деформируемый ковочный (например, литейные сплавы марок АК7, АК12) или за деформируемый сплав системы алюминий-магний (например, литейные сплавы марок АМг10, АМг7). В результате до сегодняшнего дня подавляющее большинство специалистов пользуются только старой маркировкой сплавов, не соблюдая требований действующего государственного стандарта (АЛ2, АЛ5 и т. д.).

Чтобы избежать ошибки и не нарушать требований государственного стандарта, целесообразно после написания марки в соответствии с ГОСТ 1583-93 указывать за ней в скобках ее обозначение по отмененному ГОСТ 1583-89, ОСТ 48-178 или по техническим условиям в обязательном порядке².

Рассмотрим принцип расшифровки трех возможных типов обозначений старых марок, указанных в государственном стандарте в скобках:

- буквы АЛ означают, что сплав алюминиевый литейный и следующие за ними цифры обозначают условный номер сплава;

- принцип расшифровки марок, заключенных в скобки, того же типа, что и перед скобкой (АК9М2, АМг4К1,5М1) тот же, что и марок перед скобками, т. е. определяются основные легирующие элементы и их количество в сплаве;

¹ Обозначения химических элементов в марках литейных алюминиевых сплавов соответствуют общепринятым обозначениям в марках цветных сплавов (Ж – железо, Мг – марганец, М – медь, С – свинец, Ц – цинк и т.д.).

² Несмотря на то, что в ГОСТ 1583-93 марки сплавов обозначены двойной маркировкой – новой и в скобках – старой, условие обозначения в скобках старой марки не является обязательным.

- марки сплавов в скобках типа ВАЛ8, ВКЖЛС-2, как правило, присваиваются институтами-разработчиками и их можно воспринимать как исключение из правил маркировки.

Что касается буквенной маркировки стандартных сплавов алюминия, то очевидно, что к ней надо относиться как к исключению из правил маркировки.

Таким образом, в результате проделанной работы установлено, что обоснованными и бесспорными можно считать только три общепринятые классификации алюминиевых сплавов: по технологическим свойствам, способности упрочняться термической обработкой, химическому составу; наиболее удобной и достоверной маркировкой сплавов алюминия является буквенно-цифровая; разработаны и систематизированы единые принципы расшифровки буквенно-цифровых марок литейных и деформируемых стандартных сплавов алюминия.

Список литературы

1. ГОСТ 4784-97. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки. – М.: Изд-во стандартов, 2004.
2. ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2004.
3. Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; под общ. ред. Г.Г. Мухина. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 648 с.
4. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И., Пирайнен В.Ю. Специальные материалы в машиностроении. – СПб.: Химиздат, 2004. – 640 с.
5. Гуляев А.П., Гуляев А.А. Металловедение. – М.: ИД «Альянс», 2011. – 644 с.
6. Гелин Ф.Д., Чаус А.С. Металлические материалы. – Минск: Высш. шк., 2007. – 396 с.
7. Штанов Е.Н., Штанова И.А. Цветные металлы и сплавы: справ. – Н. Новгород: Вента-2, 2001. – 277 с.
8. Справочник по конструкционным материалам / Б.Н. Арзамасов, Т.В. Соловьева, С.А. Герасимов и др.; под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 640 с.
9. Мацкевич И.А., Хирина Е.Б. Металлы и металлообрабатывающие инструменты: краткий справ. – Одесса: Студия «Негоциант», 2002. – 188 с.
10. Афонин В.К., Ермаков Б.С., Лебедев Е.Л. и др. Металлы и сплавы: справ. / под ред. Ю.П. Солнцева. – СПб.: НПО «Профессионал», НПО «Мир и семья», 2006. – 1092 с.
11. Группа компаний ЗАО «Ступинский Торговый дом» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tdsm.ru/> (дата обращения 06.02.2013).
12. Цифровая маркировка алюминиевых сплавов [Электронный ресурс]. URL: <http://litsplant.com/> (дата обращения 07.02.2013).
13. ООО «Металкомплект» [Электронный ресурс]. URL: <http://metmk.com.ua/> (дата обращения 06.02.2013).
14. Алюминиевые сплавы (состав, свойства, технология, применение): справ. / В.М. Белецкий, Г.А. Кривов; под общ. ред. академика РАН И.Н. Фридляндера. – Киев: КОМИНТЕХ, 2005. – 365 с.

Сведения об авторе: Коршунова Татьяна Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент, e-mail: kortel2@mail.ru.

УДК 637 : 664

С.П. Григорьева, Л.К. Юрченко, И.В. Пищулина, Д.Ю. Проскура
 Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

УНИВЕРСАЛЬНОЕ ПЛОСКОЕ СИТО ДЛЯ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Описана конструкция малогабаритного плоского сита. Рассчитаны скорости движения сита. Приведены достоинства сита.

Ключевые слова: эксцентрик, плоское сито, классификация сыпучих материалов, пружина.

S.P. Grigoreva, L.K. Iurchenko, I.V. Pishchulina, D.U. Proskura
UNIVERSAL FLAT SIEVE FOR SMALL ENTERPRISES

The design of a small-sized flat sieve is described. Speed of movement of a sieve is calculated. Sieve advantages are specified.

Key words: clown, flat sieve, classification of bulks, spring.

Классификация сыпучих материалов производится в многочисленных отраслях народного хозяйства. При этом используются сита достаточно больших габаритных размеров. В промышленности строительных материалов, горной, при добыче полезных ископаемых, угольной и других отраслях естественно использовать сита-грохоты больших размеров, так как классифицируемые материалы сами имеют внушительные размеры кусков[2].

В пищевой, рыбной, химической и других отраслях используются сита средних размеров. На малых предприятиях, в кухнях ресторанов, столовых, кафе, химических лабораториях часто нужно использовать небольшие сита из-за малых объемов классифицируемого материала и из-за мелкости частиц самого материала.

Универсальное плоское сито отвечает этим требованиям. Оно состоит из короба с ситом и приемником прохода, бункером схода, двух круглых эксцентриков и двух пружин.

Обозначим радиус эксцентрика R , эксцентриситет примем равным $\frac{R}{2} = e$. Пусть эксцентрики вращаются равномерно вокруг оси O с угловой скоростью ω . вычислим горизонтальную скорость движения сита, а также абсолютную скорость бункера в момент времени, когда отрезок $OC = e$ горизонтален (рис. 1).

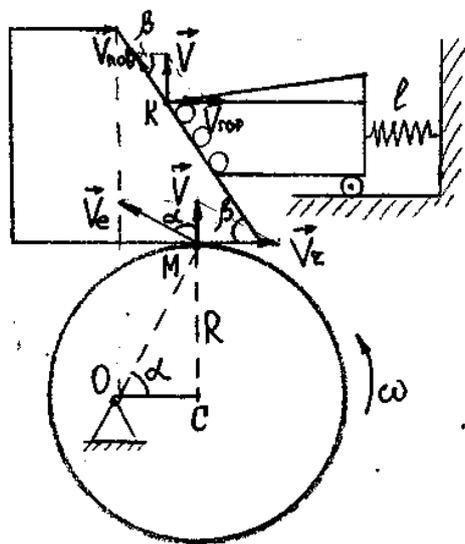


Рис. 1. Положение сита, когда отрезок OC горизонтален
 Fig. 1. The position of a sieve when the segment OC is horizontal

эксцентрика, а переносное – вращение эксцентрика вокруг неподвижной оси O . Совокупность этих простых движений есть абсолютное движение. Абсолютное движение является поступательным движением бункера по вертикали.

Схема сложного движения приведена на рис. 2.

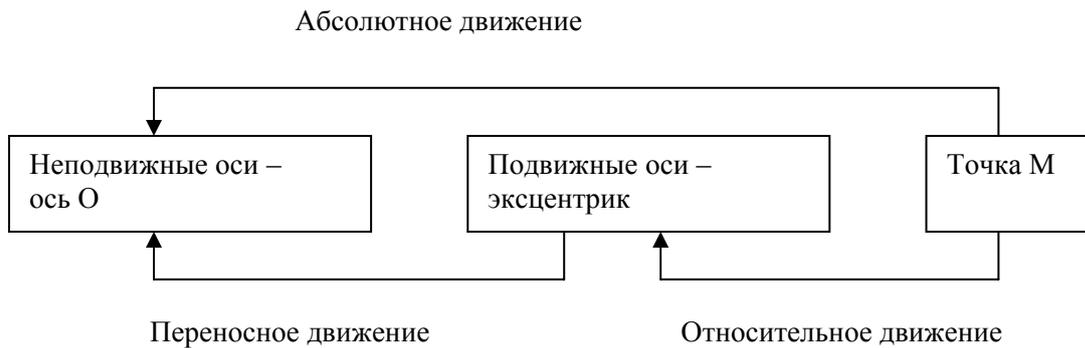


Рис. 2. Схема сложного движения точки М
Fig. 2. Scheme of compound movement of a point M

Относительная скорость точки направлена по касательной к эксцентрику, переносная – перпендикулярна радиусу вращения OM и сонаправлена с угловой скоростью ω . Она равна $V_e = OM \cdot \omega$. Абсолютная скорость \vec{V} направлена вертикально, так как бункер движется поступательно в вертикальных направляющих.

Согласно теореме о сложении скоростей построим параллелограмм скоростей. Вертикальное положение абсолютной скорости \vec{V} диктует форму параллелограмма. Обозначим угол между OM и OC через α . Тогда угол между скоростями \vec{V} и \vec{V}_e также будет равен α , а переносная скорость определится [1]: $V_e = OM \cdot \omega = \frac{R}{\sin\alpha} \cdot \omega$.

$$\text{Относительная скорость: } V_r = V_e \sin\alpha = \frac{R}{\sin\alpha} \omega \cdot \sin\alpha = R \cdot \omega.$$

$$\text{Абсолютная скорость: } V = V_e \cos\alpha = \frac{R}{\sin\alpha} \omega \cdot \cos\alpha = R \cdot \omega \cdot \operatorname{ctg}\alpha.$$

Из треугольника OMC рис. 1 определим $\operatorname{ctg}\alpha = \frac{e}{R}$, тогда абсолютная скорость точки M будет $V = R \cdot \omega \cdot \operatorname{ctg}\alpha = R \cdot \omega \cdot \frac{e}{R} = \omega \cdot e$.

Вернемся к определению горизонтальной скорости движения сита. Так как движение бункера в вертикальных направляющих является поступательным, то все его точки будут иметь одинаковые скорости и равные абсолютной скорости точки M .

Обозначим общую точку бункера и сита буквой K и перенесем в нее абсолютную скорость из точки M . Эту скорость разложим на составляющие $\vec{V}_{\text{гор}}$ и $\vec{V}_{\text{пов}}$ (см. рис. 1). Обозначим β угол скоса бункера. Тогда скорость сита $V_{\text{гор}} = V \cdot \operatorname{ctg}\beta = \omega \cdot e \cdot \operatorname{ctg}\beta$. Бункер имеет такие размеры, что $\operatorname{ctg}\beta = \frac{1,5e}{3e} = \frac{1}{2}$. $V_{\text{гор}} = V_{\text{сита}} = \frac{1}{2} \omega \cdot e$.

Рассмотрим теперь положение механизма в момент времени, когда отрезок $OC = e$ развернулся на угол 90° в направлении вращения эксцентрика (рис. 3). Переносная скорость точки M бункера определится $V_e = OM \cdot \omega = (R + e) \cdot \omega$ и будет направлена перпендикулярно OM в сторону вращения.

Относительная скорость \vec{V}_r направлена по касательной к эксцентрику. Согласно теореме о сложении скоростей $\vec{V} = \vec{V}_e + \vec{V}_r$ абсолютная скорость будет равна нулю, так как \vec{V}_e и \vec{V}_r направлены по одной прямой (см. рис.3). Следовательно, и скорость $V_{\text{гор}} = V_{\text{сита}}$ равна нулю.

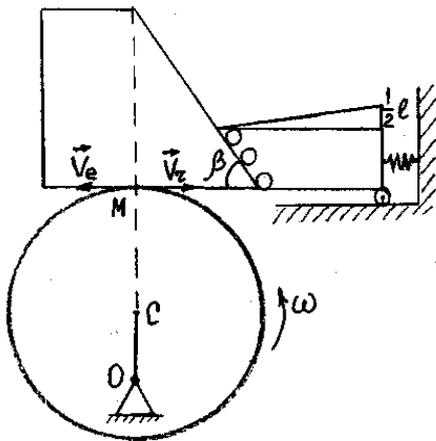


Рис. 3. Положение сита, когда отрезок ОС вертикален
 Fig. 3. Position a sieve when the segment OC is vertical

В третьем положении механизма, когда ОС развернут на угол 180° , скорости будут такими же, как в положении 1, \vec{V}_e и \vec{V}_r противоположны по направлению. В положении 4, когда ОС развернут на 270° , \vec{V}_e и \vec{V}_r будут минимальными по величине и равны $V_e = V_r = \omega(R - e)$; $V_{гор} = V_{сита} = 0$.

Дадим некоторые рекомендации по оформлению бункера. Для этого выполним рис. 4, на котором совмещены четыре положения эксцентрика в моменты времени, когда угол между ОС и горизонталью $0, 90, 180$ и 270° .

По рис. 4 видно, что смещение точки М бункера по вертикали и горизонтали равно двум эксцентриситетам. Для того чтобы бункер не соскальзывал с эксцентрика, берем запас в e . Итого размер подошвы бункера будет величиной $3e$. По высоте бункер берем равным также $3e$. Сито за один цикл движения механизма занимает четыре положения – два крайних и два раза среднее. Поэтому короб сита, а именно, сборник прохода по высоте, должен быть равен e .

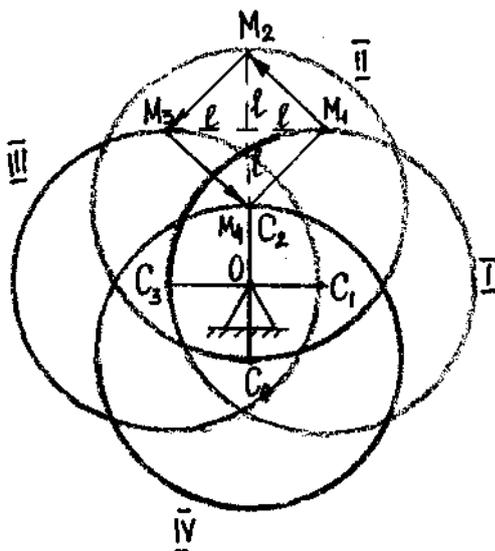


Рис. 4. Смещение точки касания бункера М по горизонтали и вертикали
 Fig. 4. Shift of a point of a contact of the bunker M along horizontal and vertical

Сито по скосу бункера перемещается на роликах, а по горизонтали – на колесиках. Оно прижимается к бункеру двумя пружинами одинаковой жесткости. Пружины сжаты во всех четырех положениях механизма. Длину нерастянутой пружины примем равной $2e$.

Бункер перемещается по вертикали в направляющих, в которых ходит выступ бункера, длиной $2e$ (на чертеже не показан).

Выгрузку схода можно производить в вертикальную прорезь по ходу сита.

Получив формулу скорости движения сита по горизонтали $V_{гор} = V_{сита} = \frac{1}{2} \omega \cdot e$, которую оно имеет в среднем положении на бункере, приходим к выводу, что увеличить эту скорость можно путем увеличения угловой скорости вращения эксцентрика.

Дополнительно можно указать следующие достоинства универсального сита:

- имея набор сит с разными ячейками, можно классифицировать разные по размеру частицы материалы;
- имея набор сит с одинаковыми ячейками, можно менять сита при налипании продукта;
- дополнительно к электрическому приводу использовать ручной в необорудованных помещениях и полевых условиях;
- механизм сита отличается простотой в обслуживании и ремонтпригодностью;
- малые габариты и вес механизма.

Список литературы

1. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Высш. шк., 2000. – 416 с.
2. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии / под ред. В.Г. Айнштейна. – М.: Логос; Высш. шк., 2003. – Кн. 2. – 1757 с.

Сведения об авторах: Григорьева Светлана Петровна, главный специалист ИЗО,
e-mail: spu_vl@lift.ru;

Юрченко Лилия Константиновна, доцент;

Пищулина Ирина Валентиновна, старший преподаватель, e-mail: stepka_53@mail.ru;

Проскура Дмитрий Юрьевич, старший преподаватель.

УДК 664.95.002.51 + 639.2

А.А. Тушко¹, В.И. Максимова²¹Институт технологии и бизнеса, 692900, г. Находка, ул. Дальная, 14²Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52 б**КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК**

Предложены способы регулирования влажности древесных опилок перед поступлением в дымогенератор.

Приведена номограмма определения количества удаляемой или добавляемой влаги в опилки.

Разработана система управления технологическим процессом регулирования влажности опилок.

Ключевые слова: *регулирование, влажность, древесные опилки, технологический процесс.*

A.A. Tushko, V.I. Maksimova**CONDISHION WOOD-PULP SAWOLUST**

Offer methods regulate moisture wood-pulp sawdust before do in smoke generation.

Lead nomogramma what for amount define remove or add moisture in sawdust. Worked out system manage technological out process regulate moisture sawdust.

Key words: *regulate, moisture, wood-pulp sawdust, technological process.*

Одним из направлений дальнейшего совершенствования производства является улучшение качества копченой продукции, получаемой при переработке мясного и рыбного сырья.

Установлено, что правильное проведение процесса копчения предусматривает генерацию дыма из древесных опилок определенной влажности в зависимости от способов копчения. При холодном копчении рыбы необходимо использовать опилки относительной влажности 15÷25 %, при горячем – 35÷50 %, а при копчении в электростатическом поле высокого напряжения – 50÷60 % [1].

При производстве копченой продукции из мясного сырья, для качественного проведения копчения различных сортов колбас, а также для обжарки мяса дымовоздушной смесью требуется определенное содержание фенолов в зависимости от вида продукции (от $0,8 \cdot 10^{-6}$ кг/м³ до $26 \cdot 10^{-6}$ кг/м³) [2, 3]. Содержание фенолов в дымовоздушной смеси зависит от влажности дыма, которая в свою очередь определяется влажностью опилок, поступающих в дымогенератор.

На основании вышеизложенного, из-за того, что в коптильное производство поступают опилки различной влажности, возникает необходимость их кондиционирования по влажности, т.е. осуществления процесса их подсушки или увлажнения [4].

Количество влаги, которое необходимо добавить или удалить из опилок, можно определить по следующей формуле:

$$W = \frac{\omega_k - \omega_n}{100 - \omega_k} \cdot Q,$$

где W – количество воды, которое необходимо добавить или удалить из 1 кг опилок; ω_k – конечная влажность опилок; ω_n – начальная влажность опилок; Q – производительность дымогенератора по опилкам.

Вместо предложенной выше формулы можно пользоваться номограммой, где по оси абсцисс отложены значения относительной влажности, а по оси ординат – значения ΔW –

количество влаги, которую необходимо удалить или добавить в опилки для получения требуемой влажности [г/кг]. Построено семейство конечных влажностей опилок ω_k . Данные прямые пересекают ось абсцисс в точке требуемой влажности опилок, а ось ординат в точке ΔW соответствует требуемой конечной влажности опилок в зависимости от начальной.

Из точки на ось абсцисс, равной исходной относительной влажности опилок ω_n , восстанавливают или опускают перпендикуляр на ось ординат и получают необходимое значение ΔW .

Проанализируем процессы подсушки и увлажнения опилок на основании номограммы (рис. 1).

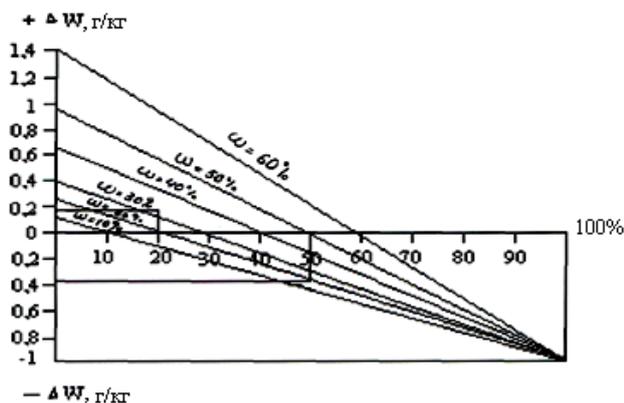


Рис. 1. Номограмма определения количества удаленной или добавляемой влаги в опилки
Fig. 1. Nomogram definition what for amount define remove or add in moisture in sawdust

Требуется подсушить опилки исходной влажностью $\omega_n = 50\%$ до влажности $\omega_k = 20\%$. Из точки $\omega = 50\%$ опускаем перпендикуляр вниз до пересечения с прямой $\omega = 20\%$. Из точки пересечения опускаем перпендикуляр на ось ординат, где получаем $\Delta W = 0,38$ г/кг. Следовательно, из каждого килограмма опилок необходимо удалить 0,38 г влаги.

Необходимо увлажнить опилки от начальной влажности $\omega_n = 20\%$ до влажности $\omega_k = 30\%$. Из точки $\omega = 20\%$ опускаем перпендикуляр вниз до пересечения с прямой $\omega = 30\%$. Из этой точки до пересечения на ось ординат проводим перпендикуляр и находим точку $\Delta W = 0,18$ г/кг. Следовательно, на каждый килограмм опилок необходимо добавлять в них 0,18 г влаги.

Технологический процесс подсушки или увлажнения опилок можно автоматизировать с использованием воздушного кондиционера. На рис. 2 приведена схема управления технологическим процессом подсушки или увлажнения опилок.

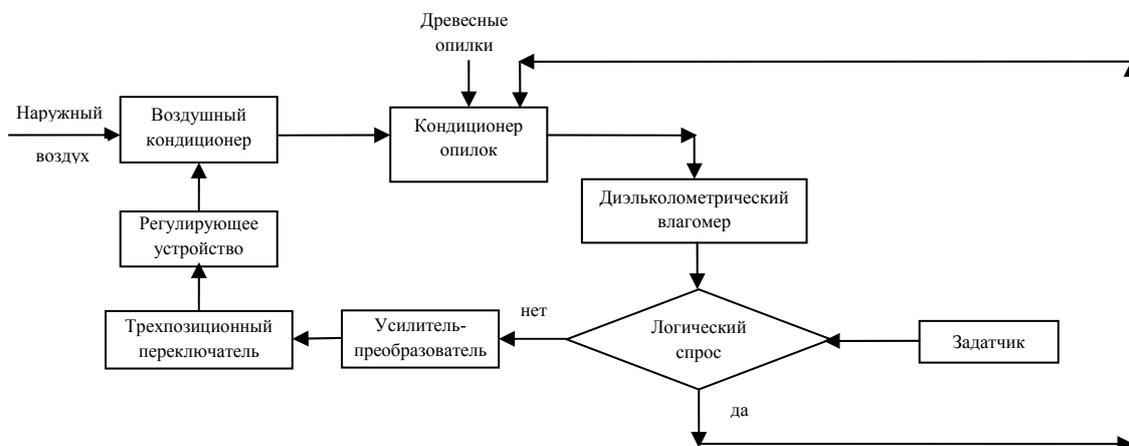


Рис. 2. Схема управления технологическим процессом работы кондиционера опилок
Fig. 2. Scheme manage technological process work condition sawdust

В кондиционер опилки подаются определенной влажности. В нем установлен диэлектрический влагомер, который по величине емкости конденсатора определяет влажность опилок. Сигнал от влагомера поступает на логический блок. Одновременно на него поступает сигнал от датчика. При наличии рассогласования сигнал подается на усилитель-преобразователь, а затем на трехпозиционный переключатель. В зависимости от polarity тока регулирующей орган включает подогрев воздуха при необходимости подсушки опилок или производит их увлажнение.

Возможно ручное управление процессом. Для этого необходимо аналитически определить количество воды, которое необходимо добавить или удалить из опилок по ранее описанным методикам, затем определить удельный и полный расход воздуха через кондиционер с использованием I-x диаграммы влажного воздуха, а впоследствии установить механическим путем объемное поступление требуемого количества воздуха в кондиционер.

Использование данного процесса в копильных производствах позволяет улучшить качество выпускаемой продукции, более рационально использовать универсальные термокамеры и сократить время копчения.

Список литературы

1. Курко В.И. Химия копчения. – М.: Пищ. пром-сть, 1969. – 343 с.
2. Тушко А.А., Максимова В.И. Технологический расчет установок для холодного копчения рыбы // Современные тенденции развития перерабатывающих комплексов пищевого оборудования и технологии пищевых производств: материалы Всерос. науч.-техн. конф. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2011. – С. 46-49.
3. Тушко А.А., Максимова В.И. Аппаратурно-технологическая линия производства ветчины «Роскошь» // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2012. – Вып. 27. – С. 160-164.
4. Проскура Ю.Д., Ким И.Н. Регулирование влажности опилок в копильных цехах рыбокомбинатов // Технический листок ОНТИ ЦПКТБ ВРПО «Дальрыба». – Владивосток: ОНТИ ЦПКТБ ВРПО «Дальрыба», 1983. – 4 с.

Сведения об авторах: Тушко Александр Андреевич, кандидат технических наук, доцент, e-mail: andr48@mail.ru;

Максимова Вера Ивановна, аспирант.

УДК 628.35-574.24.044

С.Д. Угрюмова, А.И. Федорова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ МОРСКОЙ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ЗЕРНИСТЫЕ ПЕРЕГОРОДКИ

Рассмотрены основные показатели фильтрующих загрузок насыпных фильтров, проведены лабораторные испытания, разработана методика оценки эффективности процесса фильтрации.

Ключевые слова: эффективность, процесс фильтрации, морская вода, насыпные фильтры, методика.

S.D. Ugryumova, A.I. Fedorova

EVALUATION OF SEA WATER FILTRATION THROUGH GRANULAR PARTITIONS

The main indicators of bulk filter media filters, carried Dena laboratory tests, the methods of evaluating the effectiveness of the filtering process.

Keywords: efficiency, the filtering process, sea water, bulk filters, technique.

Основными показателями фильтрующих загрузок насыпных фильтров являются пропускная способность, грязеемкость и время работы фильтра до регенерации.

Очистка морской воды фильтрованием заключается в отделении взвешенных в жидкости частиц (водорослей, песка, рачков, масел, а в некоторых случаях – микрокапель воды и пузырьков воздуха и т.д.) при прохождении двухфазной системы – жидкости с диспергированными или эмульгированными в ней загрязнениями – через пористый фильтрующий материал.

Течение жидкости через фильтрующий материал при ламинарном режиме описывается уравнением Дарси [1, 2]:

$$P = K_n \cdot F \frac{\Delta P}{\mu_m \cdot H}, \quad (1)$$

где P – пропускная способность, м³/с; K_n – коэффициент проницаемости материала, м²; F – площадь фильтрующего материала, м²; ΔP – перепад давления, Па; μ_m – динамическая вязкость материала, Па·с; H – толщина фильтрующего материала, м.

При ламинарном течении жидкости через фильтрующую перегородку, когда перепад давления на материале и скорость фильтрования связаны линейной зависимостью, достигается наиболее экономичный режим работы фильтра. С увеличением скорости фильтрования наблюдаются отклонения от ламинарного режима, что обусловлено конфигурацией пор, представляющих при движении воды местные гидравлические сопротивления. При относительно малых скоростях жидкости гидравлические потери (перепад давления) определяются в основном потерями на трение в порах, связанными со скоростью линейной зависимостью. С увеличением скорости влияние местных сопротивлений на суммарные гидравлические потери в фильтрующем материале будут возрастать, т.е. процесс уже не будет описываться уравнением (1).

Мерой применимости закона Дарси служит критерий Рейнольдса, характеризующий гидродинамический режим потока и выражающий отношение инерционных сил к силам трения в потоке:

$$\text{Re} = \frac{W_{\phi} \cdot L \cdot \rho_m}{\mu}, \quad (2)$$

где W_{ϕ} – средняя скорость фильтрования, м/с; L – характерный геометрический параметр, м; ρ_m – плотность материала, кг/м³.

Сложность явлений, наблюдаемых при движении потока через фильтрующий материал, и зависимость его от большого числа разнообразных факторов не дают возможности решить уравнения, описывающие этот процесс, в аналитическом виде. Однако анализ процесса фильтрования показывает, что его эффективность зависит от гидродинамического режима движущегося потока и сил давления и инерции в нем. Поэтому взаимосвязь между факторами, влияющими на рассматриваемый процесс, целесообразно выразить в виде критериального обобщения опытных данных.

Процесс течения через фильтрующий материал помимо критерия Рейнольдса будет зависеть и от критерия Эйлера [2], являющегося мерой отношения давления и сил инерции в потоке и характеризующего зависимость скорости фильтрования от полного перепада давления на фильтрующем материале:

$$\text{Eu}_{\phi} = \frac{\Delta P}{W_{\phi}^2 \cdot \rho_m}. \quad (3)$$

Чтобы оценить влияние толщины материала на процесс фильтрования, целесообразно преобразовать критерий Эйлера, следует отнести перепад давления на фильтрующем материале к его толщине H и ввести в выражение (3) градиент давления $\Delta P / H$. Это можно получить, если умножить выражение (3) на параметрический критерий L / H :

$$\text{Eu}_{\phi}^* = \frac{\Delta P}{H} \cdot \frac{L}{W_{\phi}^2 \cdot \rho_m}, \quad (4)$$

где Eu_{ϕ}^* – модифицированный критерий Эйлера.

В выражениях (2) и (4) важно правильно выбрать характерный геометрический параметр L , определяющий свойства фильтрующего материала. В ряде работ за указанный параметр принимают средний или номинальный размер пор фильтрующего материала, выражаемый приведенным диаметром пор. Выбор такого показателя не вызывает принципиальных возражений, однако в этом случае вместо средней скорости фильтрования W_{ϕ} в выражениях (2) и (4) должна входить истинная скорость движения потока в порах, определить которую достаточно трудно, и это не позволяет принимать размер пор фильтрующего материала в качестве геометрического параметра.

Наиболее приемлемым параметром для использования в критериальных уравнениях является коэффициент проницаемости K_n фильтрующего материала, зависящий только от свойств самого материала. Этот коэффициент без затруднений определяют из уравнения (1), так как все входящие в уравнение величины можно получить экспериментальным путем. Ввиду того, что коэффициент проницаемости имеет размерность площади, в уравнения для безмерных критериев его вводят в степени 0,5:

$$\text{Re} = \frac{W_{\phi} \cdot \rho_m \cdot K_n^{0,5}}{\mu}. \quad (5)$$

Модифицированный критерий Эйлера примет вид

$$Eu_{\phi}^* = \frac{\Delta P}{H} \cdot \frac{K_n^{0,5}}{W_{\phi}^2 \cdot \rho_m} \quad (6)$$

Величину скорости фильтрования, или фиктивную скорость движения потока через фильтрующий материал, входящую в выражения (5) и (6), можно определить из соотношения

$$W_{\phi} = \frac{\Pi}{F} \quad (7)$$

Найденная экспериментально зависимость

$$Eu_{\phi}^* = f(Re) \quad (8)$$

характеризует течение потока через фильтрующий материал.

В условиях ламинарного режима зависимость (8) носит линейный характер. Так как в этих условиях влияние инерционных сил на поток исчезающее мало, т.е. все возмущения, вызываемые местными сопротивлениями, локализуются и затухают в результате действия сил трения. Критерий Рейнольдса будет очень мал, а критерий Эйлера станет очень большим: $Re \rightarrow 0$; $Eu \rightarrow \infty$.

Для оценки движения морской воды через фильтрующий материал при ламинарном режиме следует использовать критерий Лагранжа (La), полученный путем перемножения критериев Re и Eu и сохраняющийся в условиях ламинарного режима постоянным:

$$La = \frac{\Delta P \cdot K_n}{W_{\phi} \cdot \mu \cdot H} = const. \quad (9)$$

Постоянство критерия Лагранжа свидетельствует об автомодельности процессов движения жидкости через фильтрующий материал при ламинарном режиме, т.е. об автоматическом подобии (не зависящий от фильтрующего материала, вязкости и т.д.) рассматриваемых процессов между собой и о наличии вследствие этого линейной зависимости между скоростью фильтрования и перепадом давления на фильтрующем материале. Границы применения линейного закона фильтрования, наблюдаемого при ламинарном режиме движения, определяются помимо скорости фильтрования также индивидуальными свойствами фильтрующего материала и вязкостью жидкости.

При фильтровании загрязненных сред на режим течения наряду со скоростью фильтрования влияет также изменение проницаемости фильтрующего материала за счет оседания загрязнений на поверхности и в порах. Вследствие того, что гранулометрический состав загрязнений меняется в широком диапазоне, частицы загрязнений в процессе фильтрования могут по-разному взаимодействовать с фильтрующим материалом: полностью или частично закупоривать его поры, образовывать над входом в поры рыхлые структуры арочной формы, так называемые сводики, или отлагаться на нем в виде сплошного осадка.

Независимо от схемы оседания загрязнений, процесс фильтрования описывается одним из следующих дифференциальных уравнений. При постоянном перепаде давления на фильтрующем материале $\Delta P = const$:

$$\frac{dR}{dV} = k_m \cdot R^b \tag{10}$$

При постоянной скорости фильтрации ($W_\phi = const$):

$$\frac{dR}{d\tau} = k_m \cdot R^b, \tag{11}$$

где R – общее гидравлическое сопротивление фильтрующего материала и загрязнений, m^{-1} ; V – объем морской воды через единицу поверхности фильтрующего материала, m^3/m^2 ; k_m – коэффициент, характеризующий фильтруемость жидкости и имеющий неодинаковый физический смысл, а следовательно, и разную размерность в зависимости от схемы оседания загрязнений: b – показатель, зависящий от схемы оседания загрязнений ($0 \leq b \leq 2$).

Выбор уравнений (10) или (11) для описывания фильтрации зависит от условий, при которых этот процесс происходит на практике. В табл. 1 рассмотрены все возможные случаи подачи воды для фильтрации и соответствующие им изменения основных параметров – скорости фильтрации и перепада давления на фильтрующем материале.

Таблица 1

Режимы фильтрации морской воды

Table 1

Modes of filtering seawater

Подача морской воды	Скорость фильтрации	Перепад давления
Самотеком из резервуара с постоянным уровнем	Уменьшается	Постоянный
Самотеком из резервуара с уменьшающимся уровнем	Уменьшается	Уменьшается
Насосом объемного типа	Постоянная	Увеличивается

В подавляющем большинстве технологических схем, применяемых при фильтрации воды в разных условиях, жидкость подают на фильтр насосами объемного типа, т.е. процесс протекает соответственно или при постоянной скорости фильтрации или при постоянном перепаде давления, может происходить и при подаче жидкости объемными насосами, в случае когда давление в системе достигнет значения, на которое отрегулирован редукционный клапан, в результате чего и произойдет его открытие.

Максимальный рост гидравлического сопротивления на фильтрующем материале в единицу времени наблюдается при полном закупоривании пор фильтрующего материала загрязнениями (в этом случае $b = 2$), несколько меньше – сопротивление возрастает при постепенном закупоривании пор фильтрующего материала ($b = 1,5$), еще медленнее сопротивление возрастает при фильтрации с образованием сводиков ($b = 1$) и, наконец, наименее интенсивное увеличение сопротивления наблюдается при отложении осадка на фильтрующем материале ($b = 0$).

По физико-механическим свойствам фильтрующие материалы обычно делят на сжимаемые и несжимаемые. Сжимаемость материала (способность изменять объем при изменении перепада давления) существенно влияет на свойства, в первую очередь на гидравлическую характеристику [3].

Считается, что материалы поверхностного действия имеют толщину всего в несколько раз больше, чем размер задерживаемых ими частиц, и задерживают эти частицы на своей

поверхности, а материалы объемного действия имеют толщину на несколько порядков больше, чем размер задерживаемых частиц, оседающих главным образом в глубине материала. Однако большинство применяемых в настоящее время фильтрующих материалов нельзя однозначно отнести к какому-либо одному из этих видов.

Одновременно с тонкостью фильтрования, как правило, определяют коэффициент полноты фильтрования

$$\varphi = 1 - \frac{G}{G_0}, \quad (12)$$

где φ – коэффициент полноты фильтрования; G_0 и G – количество загрязнителя, содержащегося в жидкости соответственно до и после фильтрования, г.

Гидравлическая характеристика фильтрующего материала выражается зависимостью

$$q = f(\Delta P), \quad (13)$$

где q – удельная пропускная способность материала, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; $\Delta P = (P_1 - P_2)$ – перепад давления на материале, Па; P_1 и P_2 – давление соответственно перед испытуемым образцом и после него, Па.

Для нахождения зависимости (13) при разных перепадах давления следует определять удельную пропускную способность фильтрующего материала, т.е. количество жидкости, проходящей через единицу поверхности в единицу времени. Обычно перепад давления на материале при снятии его гидравлической характеристики изменяют с интервалом 10 или 20 кПа.

Ресурс работы фильтрующего материала выражается тем количеством жидкости определенной загрязненности, после фильтрования которой перепад давления на материале становится максимально допустимым. Ресурс работы зависит от загрязненности сливаемой жидкости, поэтому данный показатель следует определять при фильтровании с одинаковым содержанием загрязнителя. Поскольку это требование трудно выполнить, в некоторых случаях вместо ресурса работы определяют другие величины – грязеемкость фильтрующего материала и фильтруемость жидкости через него.

Грязеемкость фильтрующего материала выражают массой загрязнений, задержанных на единице поверхности материала за то время, когда перепад давления достигает максимально доступного. Грязеемкость определяют по формуле

$$\Delta G = G_\phi - G_{\phi_0}, \quad (14)$$

где ΔG – масса загрязнителя, задержанного материалом на единице поверхности за время испытания, $\text{кг}/\text{м}^2$; G_ϕ и G_{ϕ_0} – масса единицы поверхности материала соответственно до и после испытания, $\text{кг}/\text{м}^2$.

Этот показатель находят при взвешивании испытуемого образца материала, предварительно высушенного до постоянной массы. Грязеемкость фильтрующего материал зависит от характера и свойств загрязнений (в первую очередь от их гранулометрического состава и плотности), а также от режима фильтрования и схемы, по которой происходит оседание загрязнений на материале, поэтому показатель ΔG , полученный при исследовании материала в лабораторных условиях с применением искусственного загрязнителя, нельзя перенести на натурные условия и использовать в конструкторских расчетах, он служит лишь для сравнительной оценки фильтрующих материалов [4].

Важным показателем эффективности процесса фильтрования является скорость протекания жидкости через фильтрующий материал. Наиболее распространенный метод основан на предположении, что движение жидкости в пористом материале осуществляется в соответствии с формулой Гагина-Пуазейля:

$$P = F \frac{\pi \cdot d_n^4 \Delta P \cdot N}{128 \mu \cdot H}, \quad (15)$$

где P – пропускная способность, м³/с; F – поверхность фильтрующего материала, м; d – диаметр, м; N – число пор на единице площади, м⁻².

Следующим показателем эффективности загрузки является ресурс работы, т.е. работы фильтра до регенерации.

Фильтрующие материалы должны обеспечивать необходимую тонкость и полноту фильтрования при достаточно длительном ресурсе работы, причем эти показатели не должны заметно снижаться в течение всего периода эксплуатации, стойкими в среде очищаемой жидкости во всем диапазоне рабочих температур и независимо от продолжительности контактирования, не ухудшать физико-химические показатели очищаемой жидкости и не загрязнять ее частицами, вымываемыми из материала в процессе ее эксплуатации; быть достаточно прочными, в том числе и при действии вибрационных, ударных и тепловых нагрузок, возможных в процессе эксплуатации фильтра.

Желательно, чтобы материалы обладали хорошими конструкционными качествами, т.е. легко подвергались обработке, герметизации, и другими технологическими операциями. Гидравлическое сопротивление материала будет возможно меньшим при высокой удельной пропускной способности.

Экономические показатели материала могут быть значительно повышены, если он обладает способностью к многократной регенерации с полным восстановлением первоначальных свойств. Если регенерация материала экономически не оправдана и он предназначен для одноразового использования, материал после эксплуатации должен полностью утилизироваться, не загрязняя при этом окружающую среду.

По состоянию вопроса нами были проведены лабораторные испытания, которые показали совпадения конечных результатов по определению пропускной способности насыпной загрузки теоретическим и экспериментальным методами. Ошибка лежит в допустимых пределах ± 5 %.

При испытании фильтров нами учитывались следующие требования:

1. Фильтрация производилась в направлении убывающей крупности загрузки с целью предотвращения образования малопроницаемого и трудноразрушаемого слоя при промывке осадка на поверхности загрузки.

2. Осуществлялась интенсивная промывка загрузочного материала, обеспечивающая максимальное удаление загрязняющих веществ из загрузки.

3. Фильтры обладали малой чувствительностью к колебаниям качества воды и расхода.

4. Фильтрующий материал, используемый для загрузки, обладал высокой прочностью и химической стойкостью; использовался дешевый фильтрующий материал (песок, гравий, керамзит, цеолиты и др.).

Для очистки морской воды нами в лабораторных исследованиях использовались фильтры с нисходящим (сверху вниз) потоком, по схеме прямоточного движения [5].

В фильтрах с направлением потока сверху вниз дренаж защищен от попадания неочищенных вод. При соответствующем подборе крупности и высоты загрузки скорость фильтрации для фильтров с нисходящим потоком составляла 18,46-93,93 м/ч.

Характеристика наполнителей для фильтра представлена в табл. 2.

Таблица 2

**Сравнительная характеристика объемной фильтрующей загрузки
по размеру частиц d**

Table 2

Comparison of depth filter loading on particle size d

Фильтрующая загрузка	Керамзит	Гравий (морской)	Песок (морской)	Сульфат-уголь	Тканевый фильтр	Цеолиты	Пластиковая загрузка	Пластиковая загрузка в парафине
Размер частиц d , м	$3 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$0,1 \cdot 10^{-2}$	$0,125 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$0,3 \cdot 10^{-2}$	$0,32 \cdot 10^{-2}$

Экспериментально подтверждена зависимость пропускной способности от структуры фильтрующего материала, что показано на рис. 1.

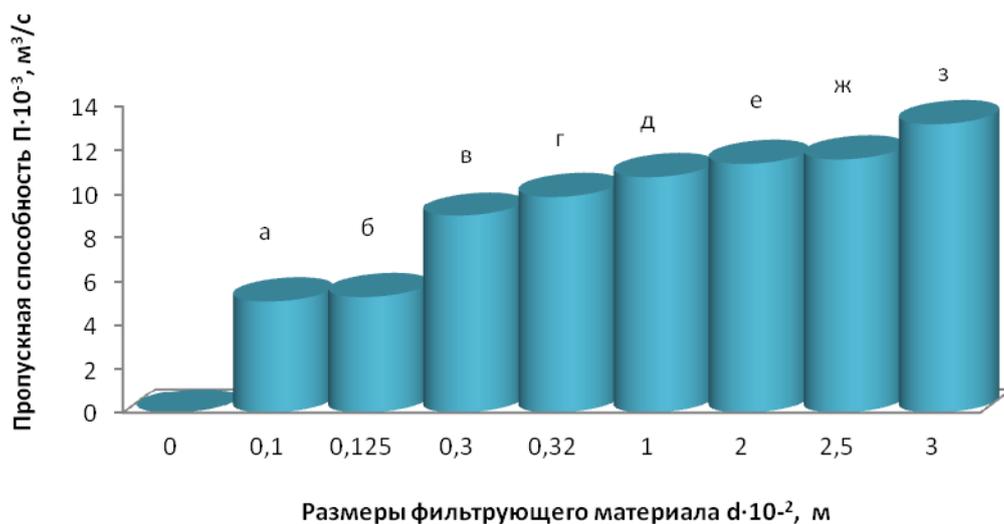


Рис. 1. Графическая зависимость пропускной способности от структуры фильтрующего материала: а – морской песок; б – сульфатуголь; в – пластиковая загрузка в парафине; г – пластиковая загрузка; д – тканевый фильтр; е – цеолиты; ж – гравий; з – керамзит

Fig. 1. Graphical Bandwidth dependence on the structure of filter-regulating material: а – sea sand; б – sulfaugol; в – plastic loading in paraffin; г – plastic download; д – fabric filter; е – zeolites; ж – gravel; з – concrete block

Как видно из графика, тонкость фильтрования ухудшается с увеличением размеров частиц. На удельную пропускную способность влияют такие факторы, как количество наполнителя и температурный режим, но влияние этих факторов незначительно. При использовании сыпучих материалов, таких как керамзит, гравий, цеолиты с частицами несферической формы в фильтре увеличивается число пор малых размеров. Фильтрование в этом случае происходит не только в порах между частицами, но и порах, образуемых разветвлениями частиц. Поэтому для тонкой очистки морской воды предпочтительнее применять материалы с частицами разветвленной формы. Эти материалы обладают и более высокой прочностью, так как контактная поверхность между такими частицами гораздо выше, чем между частицами, имеющими сферическую форму.

Зависимость пропускной способности фильтров от времени фильтрования при различном перепаде давления ΔP представлена на рис. 2.

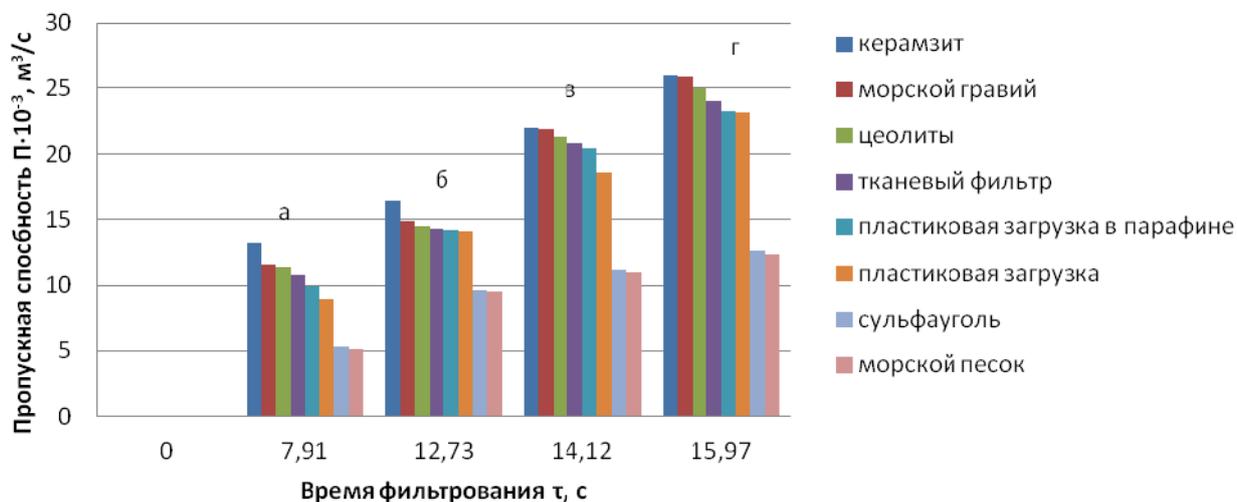


Рис. 2. Графическая зависимость пропускной способности насыпных фильтров от продолжительности фильтрования при перепаде давления:

а – 0,93 кПа; б – 1,84 кПа; в – 2,79 кПа; г – 3,73 кПа

Fig. 2. Graphical Bandwidth dependence on the length of bulk filters filter at a pressure drop:

а – 0,93 kPa; б – 1,84 kPa; в – 2,79 kPa; г – 3,73 kPa

Представленная нами схема движения морской воды через объемную фильтрующую загрузку позволяет осуществлять процесс фильтрования в пределах скорости фильтрования. Разработанная методика оценки эффективности процесса фильтрования будет использована при проведении исследований на натуральных испытаниях, однако должно учитываться следующее, что показатель массы загрязнителя, задержанного материалом на единицу поверхности за время испытания, полученный при исследовании материала в лабораторных условиях с применением искусственного загрязнителя, будет отличаться от данных, полученных в натуральных условиях.

Список литературы

1. Гордин И.В. Технологические системы водообработки. – Л.: Химия, 1987. – 265 с.
2. Клячко В.А. Очистка природных вод / В.А. Клячко, И.Э. Апельцин. – М.: Стройиздат, 1971. – 579 с.
3. Угрюмова С.Д. Использование сыпучих материалов в процессе фильтрования // Сб. науч. тр. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2005. – № 17. – С. 50-53.
4. Угрюмова С.Д. К вопросу рационального использования водных ресурсов океана // Сб. науч. тр. – П-Камчатский, 2004. – № 3.
5. Угрюмова С.Д. Экспериментальное исследование насыпной загрузки в процессе фильтрования морской воды / С.Д. Угрюмова, А.И. Федорова, И.В. Панюкова // Приморские зори. – Владивосток: ТАНЭБ, 2012. – Вып. 1. – С. 241-245.

Сведения об авторах: Угрюмова Светлана Дмитриевна, доктор технических наук, профессор;

Федорова Александра Игоревна, аспирант.

УДК 621.391.881

В.В. Кирюха

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

**АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ
ВОЗДУХА ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ РАЗЛИЧНОЙ ПЛОЩАДИ
НА РЫБООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Рассмотрены теоретические и практические вопросы контроля температуры и управления по температурным параметрам системами кондиционирования воздуха.

Ключевые слова: температура, кондиционирование.

V.V. Kiryuha

**ANALYSIS OF THE TECHNICAL ISSUES OF CONTROL
OF TEMPERATURE PARAMETERS IN THE DESIGN OF AIR
CONDITIONING SYSTEMS IN THE FISH-PROCESSING ENTERPRISES**

This article studies theoretical and practical issues of the temperature control and temperature parameter control of the air conditioning systems.

Key words: temperature, conditioning systems.

Одним из важнейших моментов охраны труда является поддержание оптимальных параметров воздушной среды производственных помещений. К таким параметрам относятся температура, влажность и запыленность воздуха. Поддержание температуры, наиболее благоприятной по медицинским показаниям и условиям комфортности, параметр в настоящее время осуществляется с помощью устройств кондиционирования воздуха.

Системы кондиционирования воздуха в производственных помещениях могут быть выполнены по различным схемам. Чаще всего используются одинарные или многоблочные сплит-системы, центральное кондиционирование, системы водного охлаждения типа «чиллер-фанкойл» или мультизональные системы.

При выборе системы кондиционирования для небольших производственных помещений площадью до 200 м² наиболее целесообразно применение обычных сплит-систем, выполненных по одинарной или многоблочной схеме. Типовая мощность таких кондиционеров ведущих мировых фирм-производителей позволяет поддерживать оптимальный температурный режим (как правило, от +18 до +30 °С) во всем воздушном объеме помещения без создания зон пониженной температуры, которые образуются в непосредственной близости от внутренних блоков сплитовых кондиционеров. Применение типовых внутренних блоков позволяет расположить их таким образом, что происходит воздухообмен во всей воздушной массе помещения.

В качестве примера можно привести данные для кондиционера сплитового типа модели LSK2460HL (фирма «LG», Республика Корея). Охлаждение/обогрев – 24000 ВТЕ/ч. Циркуляция воздуха 16/42 м³/мин. Потребляемая мощность ~2,7 кВт. Применение 4 таких кондиционеров, расположенных в противоположных углах помещения площадью 250 м² при высоте 4-5 м, позволяет создать оптимальный температурный режим (с возможностью регулирования в пределах целесообразных температур) и оптимальный режим воздухообмена.

Объекты площадью до 300-500 м² также вполне оправданно оснащать простыми сплит-системами. При очевидных недостатках такого подхода существуют и явные пре-

имущества, среди которых выделяются сравнительно невысокая стоимость, скорость выполнения работ и возможность поэтапной установки оборудования. Использование сплит-систем на небольших объектах при разумном проектировании не приводит к кардинальным изменениям в облике здания и в дальнейшем не создает проблем с их эксплуатацией и обслуживанием. Однако простые сплит-системы не позволяют организовывать централизованное управление. Разумным решением для объектов более 500 м² является центральное или мультizonальное кондиционирование. Традиционное центральное кондиционирование предполагает подачу охлажденного воздуха от одной вентиляционной установки по сети воздуховодов во все помещения здания. Такой подход обладает рядом преимуществ. Это одновременное решение задач кондиционирования и вентиляции и возможность экономии энергоресурсов при использовании в установке регенеративного теплообменника. Однако такой способ не всегда является оптимальным, поскольку при большом расходе воздуха, необходимом для компенсации тепловыделений, требуется система воздуховодов большего сечения, что не всегда возможно. Кроме того, для снижения тепловых потерь и устранения опасности выпадения конденсата воздуховоды необходимо теплоизолировать. Основная проблема центрального кондиционирования состоит в том, что в качестве теплоносителя используется воздух, обладающий низкой теплоемкостью. Другим недостатком этого метода является то, что для точного поддержания температуры в каждом отдельном помещении требуется система автоматического регулирования расхода воздуха в каждом помещении. Это значительно усложняет управление оборудованием, увеличивает стоимость всей системы в целом и предъявляет к ее обслуживанию повышенные требования. Модификацией описанного подхода является система с изменяемым расходом воздуха (VAV-variable air volume). Такие установки, в отличие от традиционных центральных кондиционеров, позволяют регулировать подачу воздуха в разные помещения. Однако перечисленные недостатки затрудняют их использование на объектах более 500-1000 м².

Проблему кондиционирования в таких помещениях можно решить, используя промежуточный хладоноситель с высокой теплоемкостью. В качестве такого теплоносителя можно использовать воду (система «чиллер-фанкойл»). Чиллер подготавливает холодную воду, которая по трубам подается к установленным в помещениях фанкойлам. Кроме воды можно использовать и другие хладагенты, например, фреон, а также системы кондиционирования с изменяемым расходом хладагента (VAV-variable refrigerant flow). Они по своей сути являются мультисистемами с расширенными возможностями. Наружный блок (компрессорно-конденсаторный агрегат) может иметь воздушное или водяное охлаждение.

Достоинствами таких систем является наличие ряда преимуществ:

- большое количество внутренних блоков, подключенных к наружному блоку;
- возможность объединения в единую систему с общим управлением;
- одновременная работа внутренних блоков на нагрев и охлаждение.

К объектам, на которых наиболее широко применяются мультizonальные кондиционеры, относятся производственные помещения, разбитые на отдельные боксы и отделения, а также производственные помещения на разных этажах здания. При этом наружный блок можно установить в удобном месте на значительном удалении от рабочих помещений.

Однако широкие возможности создают определенные трудности при проектировании и выборе агрегатов с учетом поддержания оптимальной температуры и условий ее регулирования. Выше указано, что VRF-системы позволяют производить одновременную работу внутренних блоков одной системы как на нагрев, так и на охлаждение. В этом случае в одном производственном помещении может наблюдаться картина распределения воздушных потоков подобно показанной на рис. 1.

Если средняя температура помещения составляет 22-23 °С, а установленная на внутренних блоках в помещениях 1, 2 и 3 температура будет соответственно 20, 30 и 25 °С, то блок в первом помещении будет работать на охлаждение, а блоки в помещениях 2 и 3 – на

нагрев. Так как в помещении 3 устанавливается температура, близкая к средней температуре, то воздушный поток от внутренних блоков будет создавать собственный микроклимат без циркуляции через проходы в соседние помещения. В помещении 1 холодный воздух будет опускаться и двигаться в нижнем ярусе, а в помещении 2 теплый поток будет подниматься и двигаться в верхний ярус. Взаимопроникновение потоков вызовет теплообмен. Таким образом, в помещениях 1 и 2 при открытом сообщении между внутренними средами помещений достижение требуемых условий микроклимата будет сопровождаться дополнительным теплообменом с расходом энергии и встречными разнотемпературными воздушными потоками, что вредно влияет на здоровье работающих.

Основным показателем комфорта и качества внутреннего воздуха для потребителей является его температура.

При расчетах систем кондиционирования пользуются так называемой «оптимальной» температурой внутреннего воздуха, которая для жилых, общественных и административно-бытовых помещений меняется в диапазоне от 20 до 25 °С в зависимости от периода года и скорости воздушных потоков в помещении. Оптимальные параметры микроклимата – состояние значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и ощущение комфорта не менее чем у 80 % людей, находящихся в помещении. ГОСТ 30494-26.

В пределах данного диапазона проектировщик выбирает расчетную температуру внутреннего воздуха, по которой определяет тепловой баланс помещения в теплый, переходный и холодный периоды года. Причем с целью энергосбережения в теплый период года принимается максимальная температура, а в холодный – минимальная температура внутреннего воздуха из диапазона оптимальных.

С точки зрения существующей нормативной документации данный выбор расчетной температуры внутреннего воздуха абсолютно адекватен и широко используется при проектировании систем кондиционирования. Однако для многозональных систем (VRF, VAV, систем чиллер-фанкойлы, в некоторых случаях сплит-систем) данный выбор расчетной температуры приводит к невозможности поддерживать оптимальные параметры внутреннего воздуха в обслуживаемых помещениях.

Причина этого в том, что данные системы позволяют индивидуально выбирать потребителями значение необходимой внутренней температуры помещения. Диапазон выбора внутренней температуры достаточно широк и составляет (в большинстве систем) от 18 до 30 °С. Выбор температуры случаен и зависит от индивидуальных особенностей терморегуляции организма. Часто выбранная температура не попадает в диапазон нормируемых оптимальных параметров внутреннего воздуха, что обуславливается и самим определением оптимальных параметров микроклимата, которые оптимальны только для 80 % людей. Использование нормативных показателей, которые ориентированы на «среднего» человека, допустимо при проектировании больших помещений с множеством людей, например, кинотеатры, залы совещаний, спортивные комплексы. Многозональные системы кондиционирования, которые обеспечивают комфорт конкретного человека, необходимо проектировать с учетом его субъективных характеристик.

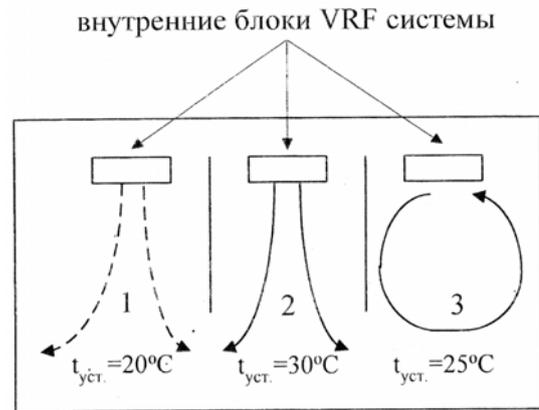


Рис. 1. Картина распределения воздушных потоков
Fig. 1. The distribution pattern of air flow

Получение комфортных характеристик показано в работе [1].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что при использовании мультizonальных систем для кондиционирования производственных помещений большой площади возникает необходимость в правильном выборе расчетной температуры воздуха. Подход к решению этой задачи приведен в работе [2].

На основании анализа статистических данных получено распределение плотности вероятности температур в помещениях при мультizonальном кондиционировании, показанное на рис. 2.

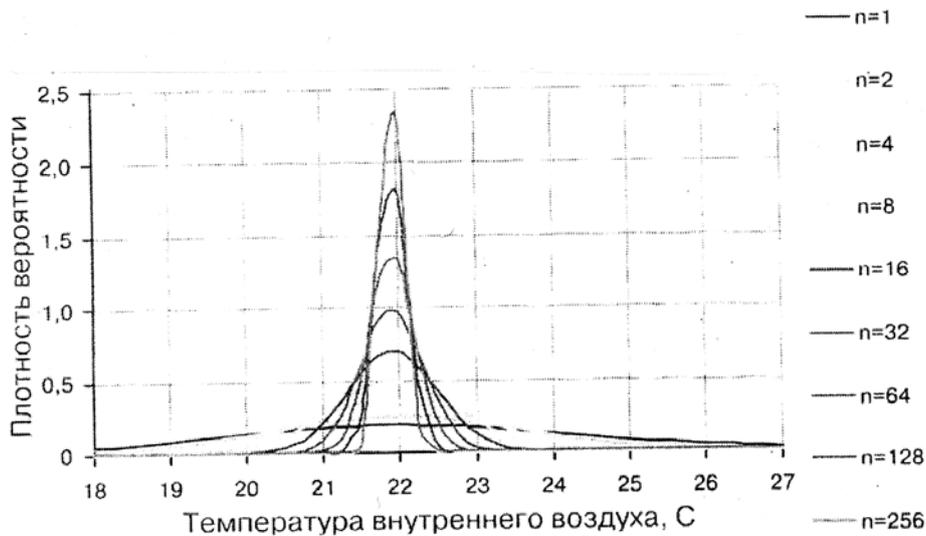


Рис. 2. Функции плотности вероятности средней температуры внутреннего воздуха при *n* местных кондиционерах

Fig. 2. Probability density function of the average length of the internal air «n» local air conditioners

Учитывая, что воздушное пространство любого помещения можно представить как неоднородную замкнутую среду, то при наличии разнотемпературных воздушных потоков будет происходить теплообмен, который может быть приближенно описан формулой

$$P = \xi S(Q_2 - Q_1) + mc \frac{d(Q_2 - Q_1)}{dt},$$

где *P* – поглощаемая (выделяемая) мощность; ξ – коэффициент теплопередачи; *S* – поверхность теплообмена; Q_2, Q_1, m – температурные и массовые параметры среды.

Теплообмен будет влиять на установившуюся температуру, особенно при значительной разнице установившихся температур на внутренних блоках мультizonальной системы. Вопросы контроля этих параметров изложены в работе [3].

Вопрос контроля температуры важен для технических решений при построении систем кондиционирования. Оптимальное управление такими системами возможно при наличии информации об «истинном» значении температуры в определенной точке внутренней экосистемы. Кроме того, исполнительные устройства системы кондиционирования завязаны на данные термодатчиков, находящихся в устройствах системы.

Внутри устройство может быть представлено в виде неоднородной замкнутой среды.

К понятиям контроля температуры в неоднородных замкнутых средах могут быть сведены разнообразные процессы термоизмерения как в различных технологических процессах, так и в макросистемах, например, контроль температуры воздуха бытовых помещений при кондиционировании воздуха.

Для правильного, оптимального для конкретного технологического процесса или макросистемы выбора схемного и конструктивного решения системы контроля температуры необходимо выделить основные критерии, на основании которых формируются требования к устройствам контроля. К таким требованиям целесообразно отнести диапазон измеряемых температур, точность контроля, инерционность и величину теплового «загрязнения» измеряемого объекта.

Диапазон измеряемых температур может определяться формулой

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1,$$

где θ_2 – максимально возможная температура контроля; θ_1 – минимально возможная температура контроля.

Диапазон измеряемых температур должен учитываться при выборе термочувствительных элементов датчиков в приборах контроля. Точность контроля выражается формулой

$$\sigma = \frac{\theta - \theta_1}{\theta} \cdot 100 \%,$$

где θ_2 – измеренное значение температуры; θ_1 – истинное значение температуры.

Точность контроля в наибольшей степени определяется выбранными схемными и конструктивными решениями приборов контроля.

Тепловая инерционность наиболее сильно сказывается на точности контроля, особенно при экспресс-контроле и дискретном контроле с малыми временными промежутками. Необходимость решения задачи с тепловой инерционностью возникает в двух случаях. В первом случае датчик, имеющий массу m и удельную теплоемкость C , находится в среде с постоянной температурой θ_1 и в момент времени t_1 включается в работу. В результате его функционирования в нем выделяется мощность p (активный датчик) и его температура $\theta_2(t)$ начинает нарастать. При достижении равновесного состояния со средой изменение температуры прекращается.

Процесс в приближенном виде может быть описан уравнением

$$P = \xi S(\theta_2 - \theta_1) + mc \frac{d(\theta_2 - \theta_1)}{dt},$$

где S – поверхность теплообмена (суммарная площадь поверхности датчика и подводных элементов); ξ – коэффициент теплопередачи.

Приведенное уравнение соответствует уравнению аperiodического звена с постоянной времени:

$$T = \frac{mc}{\xi S}.$$

Во втором случае датчик с массой m и теплоемкостью c , имеющий температуру θ_2 в момент времени t , помещается в контролируемую среду с температурой θ_1 . В результате теплообмена со средой его температура начинает стремиться к значению θ_2 . Этот процесс описывается выражением

$$\theta_1 = \theta_2 + \frac{mc}{\xi S} \cdot \frac{d\theta_2}{dt}.$$

На рис. 3 показана экспериментальная кривая переходного процесса теплового преобразователя. Отличие этой кривой от переходного процесса аperiodического звена в том, что на начальном участке $t_1 - t_2$ имеют место дорегулярный режим, связанный с теплораспределением внутри самого тела датчика, и установление градиентов температур, которые соответствуют однонаправленному тепловому потоку. Кривизна участка дорегулярного режима зависит от однородности структуры датчика и может быть целенаправленно изменена путем применения датчика с большей неоднородностью масс. На участке $t_2 - t_3$ протекает регулярный режим установления температуры, после t_3 наступает установившийся режим теплового равновесия.

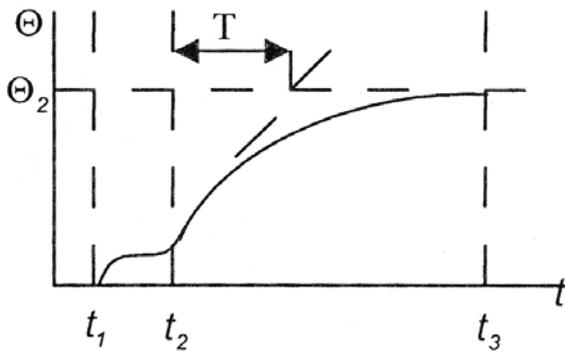


Рис. 3. Переходный процесс теплового преобразователя
Fig. 3. The transition process of the thermal converter

При незначительной неоднородности масс датчика нерегулярный режим занимает относительно малое время и теплоинерционный расчет датчика может проводиться, как для аperiodического звена. Тепловая постоянная времени определяется полной теплоемкостью преобразователя и условиями его обмена с окружающей средой, поэтому один и тот же преобразователь имеет разные постоянные времени в зависимости от условий теплообмена. Для расчета постоянной времени надо находить общую теплоемкость всех входящих в датчик элементов. Расчеты могут быть выполнены с требуемой степенью точности. Приближенные расчеты могут быть проведены исходя из средней теплоемкости металлов в пределах 400-600 Дж/(кг·К), теплоемкости неорганических изоляционных материалов (слюда, фарфор) – 800-1000 Дж/(кг·К), теплоемкости органических материалов (текстолит, гетинакс) – 1200-1400 Дж/(кг·К).

Коэффициент теплоотдачи зависит от среды, обработки поверхности датчика, конвекционных характеристик среды контроля. Постоянные времени различаются в очень широких пределах. Промышленные термоизмерители имеют постоянную времени в пределах 3-6 мин. Терморезисторы, выполненные из отрезка медной проволоки, имеют значительно меньшее значение постоянной времени, однако даже нить диаметром в сотые доли миллиметра имеет постоянную времени около одной секунды.

«Тепловым загрязнением» среды контроля является внесение температурных изменений в контролируемую среду за счет того, что теплопроводность датчика и соединяющих элементов оказывается выше, чем теплопроводность самой контролируемой среды. За счет этого в среде появляется новый, непредусмотренный теплоноситель, который может существенно исказить поле распределения температур. Основным уравнением «теплового загрязнения» является уравнение теплового баланса, физический смысл которого заключается в том, что вся теплота, поступающая к преобразователю, идет на повышение его теплоемкости θ_{mc} , следовательно, если теплосодержание датчика остается неизменным, то количество поступающей в единицу времени теплоты равно количеству отдаваемой теплоты. Теплосодержание при неизменном агрегатном состоянии вещества зависит от массы m и удельной теплоемкости C материала преобразователя и связано с температурой преобразователя выражением

$$\theta_{mc} = mc\theta.$$

Теплообмен может осуществляться посредством теплопроводности, конвекции или излучения. В реальности имеет место комбинация различных способов теплообмена.

Из-за «теплового загрязнения» наблюдается эффект искажения результатов контроля, так и датчик фактически измеряет не температуру контролируемой среды, а температуру в зоне «теплового загрязнения». При этом при низкой теплопроводности среды и высокой теплопроводности системы *датчик – соединительные элементы* искажение результатов может достигать значений в единицы и даже десятки градусов.

Примером влияния «теплового загрязнения» в технологическом процессе может служить опытная установка для определения оптимальных режимов стерилизации консервов. В макросхемах таким примером может служить система кондиционирования сплитового типа.

При дистанционном управлении пульт управления, совмещенный с термодатчиком, находится в руке у оператора, что приводит к искажению реальной температуры, отображаемой на табло, на 1-3 °С.

В качестве термочувствительных элементов может быть использовано большое число термопреобразователей. Однако, исходя из требований инерционности и минимизации «теплового загрязнения», целесообразно остановиться на терморезисторах и термопреобразователях на основе полупроводникового $P - H$ перехода. Термопреобразователи на основе термопар могут применяться в широком диапазоне температур в приборах с достаточно высокой точностью контроля.

Однако термопары имеют сравнительно большие габариты и высокую инерционность, что позволяет использовать их только при медленно протекающих процессах.

Терморезисторы бывают проволочного и полупроводникового типов. В проволочных терморезисторах используются чистые металлы: медь, платина, вольфрам, никель и т.д. Использование проволочных терморезисторов в измерителях с малой инерционностью усложняется, так как требуется значительная линейная длина проволоки. В этом случае целесообразно применять вольфрамовые терморезисторы, так как они обладают малой инерционностью, а следовательно, высокой чувствительностью.

При необходимости пересчета проволочных терморезисторов для требуемой температуры можно пользоваться формулой

$$R_{\theta_2} = R_{\theta_1} \cdot (1 + d_{\theta_2}) / (1 + \alpha\theta_1),$$

где R_{θ_2} – сопротивление при температуре θ_2 ; R_{θ_1} – сопротивление при температуре θ_1 ; α – коэффициент / для меди $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$.

Температурная зависимость сопротивления полупроводниковых терморезисторов достаточно полно описывается формулой

$$R_{\theta} = A \cdot e^{B/T},$$

где T – абсолютная температура; A – коэффициент, имеющий размерность температуры.

Если для применяемого терморезистора не известны коэффициенты A и B , но известны сопротивления R_1 R_2 при температурах T_1 и T_2 , то пересчет можно произвести по формулам

$$R_2 = R_1 \cdot e^{B(1/T_2 - 1/T_1)}, \quad B = \frac{T_2 \cdot T_1}{T_2 - T_1} \cdot \ln \frac{R_1}{R_2}.$$

Приборы, в которых в качестве датчиков используются полупроводниковые терморезисторы, должны проходить настройку и переградуировку при замене термочувствительных элементов датчиков.

Термоизмерители на основе датчиков с полупроводниковым $P - N$ переходом – термодиоды и термотранзисторы. Связь между током через переход и падением напряжения на нем определяется уравнением

$$I = I_0 \cdot e^{-B/T} \cdot (e^{qU/KT} - 1),$$

где $e^{-B/T}$ – ток насыщения, зависящий от абсолютной температуры T ; I_0 – ток насыщения при $T \rightarrow \infty$; $q = 1,6 \cdot 10^{19}$ Кл – заряд электрона; $K = 1,3810^{-23}$ Дж / К – постоянная Больцмана.

Температурная чувствительность датчиков такого типа составляет 1,0-2,0 мВ/К. Применение термодатчиков на основе полупроводниковых $P - N$ переходов целесообразно для экспресс-диагностики, а также в высокоточных приборах экспериментальных производств.

Общий анализ проблемы выбора термочувствительных датчиков для построения принципиальных схем термоизмерителей для контроля температурных параметров в неоднородных замкнутых средах должен строиться на основе выбора основных критериев для оценки применимости того или иного вида датчика. В качестве таких критериев можно выделить: диапазон температур, требуемую точность контроля, инерционность, допустимую величину «теплового загрязнения», целесообразно также применение компьютерных программ для оценки датчиков различного вида по выбранным критериям.

Применение вышеизложенных рассуждений к макросистемам, в частности к системам кондиционирования сплитового типа, эксплуатирующимся в замкнутых помещениях, позволяет оптимизировать систему управления кондиционерами и сократить расходы электроэнергии.

Современные системы кондиционирования, как правило, имеют дистанционные пульты управления, позволяющие оператору производить изменение режимов работы системы, воздействуя непосредственно на органы управления, расположенные на таком пульте.

В сплитовых системах кондиционирования на пульте расположены кнопки включения и выключения, изменения режимов работы («охлаждение», «нагрев», «осушение»), изменение интенсивности и угла обдува вентилятора, а также кнопки задания температуры. Заданные параметры преобразуются электронной схемой пульта в кодированный сигнал, передаваемый на приемник внутреннего блока инфракрасным лучом. При задании определенной температуры на пульте дистанционного управления такой режим через определенный промежуток времени устанавливается при достижении заданной температуры в воздухе, выдуваемом вентилятором внутреннего блока, так как датчик температуры (терморезистор) установлен непосредственно на радиаторе внутреннего блока. При этом температура в зоне нахождения оператора с дистанционным пультом будет отличаться от заданной. Схематично управление по температурным параметрам показано на рис. 4.

На рис. 4 показаны приемник управляющих сигналов 1; схема управления 2; датчик температуры 3; дистанционный пульт управления с кнопками задания температуры 4.

Отличие реальной температуры в зоне оператора с пультом от заданной зависит от расстояния от внутреннего блока кондиционера, угла направления потока воздуха, наличия зон завихрения (стены или предметы на пути воздуха) и т.д. При этом реальная температура может отличаться от заданной на несколько градусов, что не позволяет создать достаточно комфортные условия для персонала в зоне нахождения оператора с пультом. Отличие реальной температуры от заданной может быть проиллюстрировано графиком, приведенным на рис. 5.

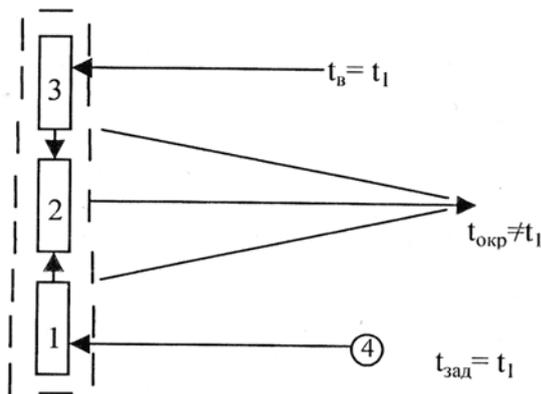


Рис. 4. Управление по температурным параметрам
Fig. 4. Office of temperature parameters

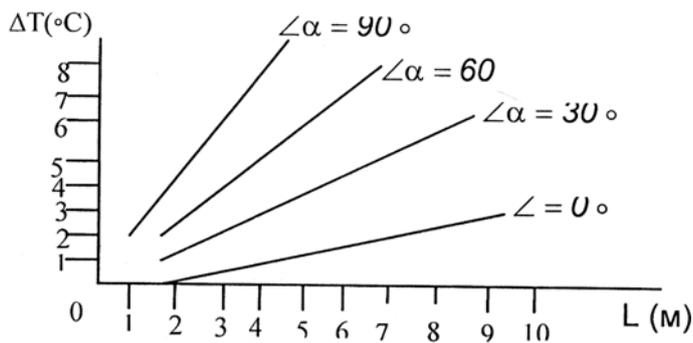


Рис. 5. Изменение отличия реальной температуры от заданной в зависимости от расстояния и угла потока
Fig. 5. Changing the actual temperature differences on the set according to the distance and angle of flow

Такой график действует только при определенной разнице между имеющейся и задаваемой температурами. Чем выше разница между имеющейся и задаваемой температурами, тем в большей степени проявляется нелинейность подъема температуры на кривых графика.

Представляется целесообразным в определенных случаях иметь корректирующий терморезистор, расположенный в дистанционном пульте, связанный с основным терморезистором во внутреннем блоке через сигнал управления. Такая схема достаточно легко реализуется с помощью незначительных изменений в пульте управления, так как пульт в основной комплектации укомплектован датчиком температуры для информирования оператора о температуре окружающей среды.

При такой доработке может быть улучшены условия труда для лиц, находящихся в зоне кондиционирования и пользующихся дистанционным пультом управления.

При проектировании систем кондиционирования производственных помещений большой площади целесообразно проведение предварительного математического моделирования с использованием вероятностных методов для определения внутренних температурных полей и их распределения внутри помещений. Это позволит оптимизировать выбор типа и мощности проектируемой системы кондиционирования.

Список литературы

1. Бурцев С.И., Цветков Ю.И. Тепловой и газовый комфорт с учётом индивидуальных особенностей человека // Арктический СНИП. – 2003. – № 1.
2. Брух С.Л. Вероятностный метод выбора расчётной температуры внутреннего воздуха при проектировании многосвязных систем кондиционирования // Арктический СНИП. – 2002. – № 4.
3. Кирюха В.В. Контроль температурных параметров в неоднородных замкнутых средах // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2001. – Вып. 14.

Сведения об авторе: Кирюха Владимир Витальевич, доцент.