

В. В. БУРКОВ

АЛЮМИНИЕВЫЕ

РАДИАТОРЫ

АВТОТРАКТОРНЫХ

ДВИГАТЕЛЕЙ

· МАШИНОСТРОЕНИЕ ·

АЛЮМИНИЕВЫЕ РАДИАТОРЫ

В. В. БУРКОВ

АЛЮМИНИЕВЫЕ РАДИАТОРЫ
АВТОТРАКТОРНЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «МАШИНОСТРОЕНИЕ»

МОСКВА 1964 ЛЕНИНГРАД

УДК 669.71 : 62-714 : 621.431.73

БУРКОВ В. В.

Алюминиевые радиаторы автотракторных двигателей.

М.—Л., Изд. «Машиностроение», 1964. 200 стр. с илл.

В книге рассматриваются конструкции алюминиевых радиаторов различного типа и технология их изготовления. Освещаются вопросы теории и расчета радиаторов, а также приводятся сведения по применяемым в настоящее время методам их испытания. Кратко изложены особенности эксплуатации и ремонта алюминиевых радиаторов. В конце книги приведен условный расчет технико-экономической эффективности внедрения алюминиевых радиаторов в народное хозяйство страны.

Книга предназначена для инженеров и техников, работающих в области проектирования, производства и эксплуатации автотракторных, комбайновых и других двигателей; она также может быть использована студентами втузов, обучающихся по автотракторной специальности.

Рецензент д-р техн. наук *Я. Х. Закин*

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

<p>d — диаметр водяной трубки, определяющий линейный размер в критериях подобия, <i>м</i>.</p> <p>d_W — гидравлический диаметр трубки по воде, <i>м</i>.</p> <p>h — высота ребра, <i>м</i>.</p> <p>δ — толщина стенки трубки, толщина ребра, <i>м</i>.</p> <p>S_1 — шаг трубок по фронту, <i>м</i>.</p> <p>S_2 — шаг трубок по направлению движения воздушного потока, <i>м</i>.</p> <p>S_3 — большая ось двуугольной трубки, <i>м</i>.</p> <p>l — глубина радиатора, <i>м</i>.</p> <p>F — поверхность охлаждения радиатора, <i>м</i>².</p> <p>$F_{фр}$ — фронтальная поверхность радиатора, <i>м</i>².</p> <p>$F_{жс}$ — площадь живого сечения, <i>м</i>².</p> <p>V — объем сердцевины радиатора, <i>м</i>³.</p> <p>z — число рядов водяных трубок по глубине радиатора.</p> <p>v_L — скорость воздушного потока перед фронтом радиатора, <i>м/сек</i>.</p> <p>v_k — скорость воздушного потока в узком сечении сердцевины, <i>м/сек</i>.</p> <p>v_W — скорость воды в трубках радиатора, <i>м/сек</i>.</p> <p>W — объемный расход, <i>м</i>³/<i>сек</i>.</p> <p>G — весовой расход, <i>кг/сек</i>.</p> <p>g — ускорение силы тяжести, <i>м/сек</i>².</p> <p>γ — удельный вес, <i>кг/м</i>³.</p> <p>$\rho = \frac{\gamma}{g}$ — плотность, <i>кг·сек</i>²/<i>м</i>⁴.</p> <p>p — давление, <i>кг/м</i>².</p> <p>p_∂ — динамическое давление, <i>кг/м</i>².</p>	<p>Δp — перепад давлений, <i>кг/м</i>².</p> <p>H — напор, <i>кг/м</i>².</p> <p>t — температура, °С.</p> <p>T — температура, °К.</p> <p>Δt — разность температур (температурный напор), °С.</p> <p>Q — теплоотдача радиатора, <i>ккал/ч</i>.</p> <p>c_p — удельная теплоемкость при постоянном давлении, <i>ккал/кг·°С</i>.</p> <p>α — коэффициент теплоотдачи, <i>ккал/м</i>²·<i>ч</i> °С.</p> <p>k — коэффициент теплопередачи, <i>ккал/м</i>²·<i>ч</i> °С.</p> <p>λ — коэффициент теплопроводности, <i>ккал/м·ч</i> °С.</p> <p>a — коэффициент температуропроводности, <i>м</i>²/<i>сек</i>.</p> <p>K_1 — коэффициент неравномерности распределения воды по трубкам радиатора.</p> <p>$\nu = \frac{\mu}{\rho}$ — коэффициент кинематической вязкости, <i>м</i>²/<i>сек</i>.</p> <p>μ — коэффициент динамической вязкости, <i>кг·сек/м</i>².</p> <p>ζ — коэффициент сопротивления.</p> <p>ψ — коэффициент оребрения.</p> <p>β — коэффициент живого сечения по воздуху.</p> <p>a_1 — коэффициент запаса, учитывающий неравномерность омывания радиатора воздухом.</p> <p>φ — коэффициент объемной компактности, <i>м</i>²/<i>м</i>³.</p> <p>$\Phi_{фр}$ — коэффициент фронтальной компактности, <i>м</i>²/<i>м</i>².</p> <p>Φ_g — коэффициент весовой компактности, <i>кг/м</i>³.</p>
--	---

η — коэффициент полезного действия.
 $A = \frac{1}{427}$ — тепловой эквивалент механической работы, $\text{ккал/кг}\cdot\text{м}$.
 N — мощность, л. с.

N_0 — мощность воздушного потока, проходящего через радиатор, л. с.
 n — число оборотов, об/мин .
 g_e — вес сердцевины радиатора, кг .

К р и т е р и и

$Re = \frac{v_{\kappa d}}{\nu}$ — критерий режима течения (критерий Рейнольдса).
 $Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}$ — безразмерный коэффициент теплоотдачи (критерий Нуссельта).

$Pr = \frac{\nu}{a}$ — критерий подобия температурных и скоростных полей (критерий Прандтля).
 $Eu = \frac{\Delta p}{\rho v_{\kappa}^2}$ — критерий подобия полей давления (критерий Эйлера).

И н д е к с ы

c — к условиям на стенке канала (трубки).
 L — к условиям на воздушной стороне.
 W — к условиям на водяной стороне.
 a — к условиям движущегося автомобиля (трактора).
 кр — критический.
 нач — начальный.

вент — величина относится к вентилятору.
 $'$ — показывает, что величина относится к условиям на входе в радиатор.
 $''$ — показывает, что величина относится к условиям на выходе из радиатора.
 $—$ (черта над буквой) — знак осреднения.

ВВЕДЕНИЕ

Программой партии, принятой на XXII съезде КПСС, предусматривается ускоренный рост производства легких, цветных и других металлов, в том числе значительное увеличение выпуска алюминия и его применение во многих отраслях народного хозяйства, в частности в машиностроении.

В нашей стране имеются богатейшие сырьевые ресурсы, на базе которых в настоящее время интенсивно развивается алюминиевая промышленность.

Алюминий часто называют металлом будущего. Его содержание в земной коре составляет 7,45% и превышает содержание таких распространенных элементов, как железо, кальций, магний и др. Разведанные к настоящему времени запасы алюминия превышают запасы всех остальных металлов, вместе взятых. По своим физико-химическим свойствам алюминий является ценным материалом для машиностроения. Он имеет малый удельный вес, устойчив против коррозии, обладает высокой теплопроводностью и хорошими технологическими качествами. Сплавы алюминия имеют весьма разнообразные свойства, что дает возможность использовать их рентабельно во многих отраслях промышленности.

Потребление алюминия в автотракторной промышленности значительно увеличивается из года в год. Так, в нашей стране к 1965 г. использование алюминия только в автомобилях возрастет по сравнению с 1959 г. в 15 раз. Большой рост использования алюминия наблюдается также и в автостроении зарубежных стран. Из алюминия и его сплавов изготавливаются: блоки и головки цилиндров двигателей, тормозные барабаны, картеры коробки передач, диски колес, панели для крыши и многие другие детали. Опыт показывает, что стоимость автомобилей при применении алюминия, как правило, снижается. Это происходит не только за счет выигрыша в весе, но и за счет того, что обработка, производство, сборка и транспортировка деталей из алюминия чаще всего стоит дешевле.

Внедрение алюминия в конструкциях автомобилей и тракторов должно осуществляться в первую очередь там, где это может дать

наибольший экономический и технический эффект. Одним из таких узлов являются радиаторы системы охлаждения двигателя.

Выпускаемые в настоящее время медные (латунные) паяные радиаторы имеют ряд существенных недостатков: применение дефицитных и дорогостоящих металлов — меди, олова и свинца, сравнительная сложность изготовления, производственная нестабильность теплоотдачи, вредность производства, слабая унификация конструкций, частые течи в эксплуатации, сложность, дороговизна и, как правило, низкое качество ремонта.

Основной технологической операцией, используемой сейчас в радиаторном производстве, является пайка оловянно-свинцовыми припоями. Пайка применяется для изготовления трубок, соединения трубок с охлаждающими пластинами и с трубными досками, прикрепления бачков к сердцевине и др., т. е. практически во всех соединениях радиатора.

Элементы сердцевины современных радиаторов изготавливаются из медной или латунной (с высоким содержанием меди) ленты. Использование меди или латуни обусловлено, в основном, тем, что эти металлы имеют высокую (особенно медь) теплопроводность, легко паяются и хорошо противостоят коррозии.

В связи с массовым характером выпуска в стране автомобилей и тракторов радиаторное производство является в настоящее время одним из крупнейших потребителей меди и оловянно-свинцового припоя. Необходимость применения этих дефицитных металлов — основной недостаток существующих радиаторов.

Для радиаторного производства характерна высокая трудоемкость сборочных операций (особенно для радиаторов трубчато-пластинчатого типа) и недостаточно высокий уровень механизации технологического процесса в целом. При сборке сердцевины радиаторов перед пайкой используется, в основном, ручной труд. В связи с применением процесса пайки производство радиаторов является вредным для здоровья работающих.

Неизбежные отклонения в технологии изготовления вызывают снижение качества радиаторов и нестабильность теплоотдачи. К таким отклонениям относятся: нарушение процесса пайки, разрывы охлаждающих пластин, неравномерный шаг между пластинами, неправильная окраска и коррозия под воздействием флюсов и кислот, оставшихся неудаленными после изготовления радиатора.

Конструкции выпускаемых промышленностью радиаторов недостаточно унифицированы. Поэтому сейчас почти для каждой марки автомобиля, трактора, комбайна, дорожной или строительной машины, стационарного двигателя, тепловоза и т. п. изготавливается свой тип радиатора. Это затрудняет специализацию и автоматизацию производства радиаторов, их эксплуатацию и ремонт, а также снабжение запасными частями.

Медные паяные радиаторы имеют недостаточную механическую прочность и в связи с этим недостаточную надежность в эксплуатации. Течи радиаторов являются частой неисправностью, вызывающей простои при эксплуатации автомобилей и тракторов.

Для ремонта радиаторов необходимы рабочие высокой квалификации и специальное оборудование для пайки. Поэтому ремонт обычно выполняется в специальных мастерских. Результатом ремонта зачастую является заглушение целого ряда трубок радиатора, что неизбежно снижает его теплоотдачу. Большой расход припоев, наряду с высокой квалификацией ремонтных рабочих, значительно повышает стоимость ремонта. Так как в настоящее время в народном хозяйстве эксплуатируется громадное количество автомобилей и тракторов, частые ремонты радиаторов являются причиной того, что ежегодно дополнительно расходуется большое количество дефицитных металлов.

Февральский (1964 г.) Пленум ЦК КПСС требует от предприятий автотракторного и сельскохозяйственного машиностроения выпускать на поля колхозов и совхозов только совершенную технику с максимальной унификацией деталей и узлов, удобную в ремонте и эксплуатации. Подобные требования предъявляются к продукции автотракторной промышленности и другими отраслями народного хозяйства страны.

Устранение большинства из перечисленных недостатков медных паяных радиаторов может идти, во-первых, путем совершенствования конструкций и технологии изготовления существующих медных радиаторов и, во-вторых, путем создания перспективных конструкций алюминиевых радиаторов, что позволит коренным образом решить проблему экономии дефицитных металлов и новой организации радиаторного производства.

За последние двадцать пять лет в нашей стране и за рубежом выполнен ряд исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ по алюминиевым радиаторам разных типов. Некоторые из этих работ завершились внедрением алюминиевых радиаторов в серийное производство. Указанными работами доказана принципиальная возможность создания промышленной конструкции алюминиевого радиатора.

Современное массовое производство предъявляет весьма жесткие требования к конструкции и технологии выпускаемой продукции. Это относится и к алюминиевым радиаторам автотракторных двигателей, внедрение которых предусматривает изменение, в той или иной степени, существующей конструкции радиаторов и технологии их производства, требует решения новых вопросов, связанных с эксплуатацией, особенно в части коррозионной стойкости, выполнения ремонта и организации хранения. Все эти работы немалозначимы без проведения большого объема различных исследований, выпуска опытных партий радиаторов и тщательного наблюдения за ними в процессе эксплуатационных испытаний.

Поэтому создание промышленной конструкции алюминиевого радиатора и внедрение ее в автотракторное производство — весьма серьезная проблема, сложность которой, к сожалению, часто недооценивается. Для ее решения необходим опыт металлургов и химиков, специалистов в области теплопередачи и двигателей внутреннего сгорания, работников автомобильной и тракторной промышленности. Необходима комплексная работа большого коллектива исследователей, конструкторов, технологов, производителей и эксплуатационников. И только их общий вклад может успешно решить рассматриваемую проблему.

ГЛАВА I

ЭЛЕМЕНТЫ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА И РАСЧЕТ РАДИАТОРОВ

1. Теплопередача

Энергия, содержащаяся в топливе, сгорающем в цилиндрах автотракторных двигателей, расходуется приблизительно следующим образом:

- 1) 25—30% получается на валу двигателя в виде полезной работы;
- 2) 40—45% отводится с отработавшими газами;
- 3) 20—35% рассеивается в виде тепла при охлаждении цилиндров.

Следовательно, в автотракторных двигателях энергия, отводимая системой охлаждения, того же порядка, что и полезная энергия на валу двигателя. Другими словами, для каждой полезной лошадиной силы мощности, полученной на маховике двигателя, системой охлаждения отводится тепло, эквивалентное мощности, приблизительно равной 0,9—1,1 л. с.

Количество тепла, выделяемого двигателем в систему охлаждения, зависит от большого числа различных факторов, важнейшими из которых являются:

- а) тип двигателя (бензиновый, дизель, четырехтактный, двухтактный);
- б) конструкция двигателя (число цилиндров, объем цилиндров, тип камеры сгорания, степень сжатия, газораспределение, наличие наддува и др.);
- в) режим работы двигателя (наполнение частичное или полное, число оборотов, температура стенок цилиндров и т. п.).

Поэтому количество тепла, выделяемого в систему охлаждения, колеблется в больших пределах даже для одного типа двигателя и точное определение его расчетным путем является затруднительным.

Ориентировочно количество тепла, отводимого в воду, для четырехтактных двигателей на режиме максимальной мощности при температуре охлаждающей жидкости в пределах от 82 до 93° С может быть определено с помощью сравнительно несложных формул [39, 52]:

а) для карбюраторных двигателей

$$Q = 0,949 i D^{1,73} S^{0,575} n^{0,71} \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{S}{D} \right) (\epsilon - 1)^{-0,286} \frac{\text{ккал}}{\text{ч}}; \quad (1)$$

б) для дизелей

$$Q = c i D^{1,73} S^{0,575} n^{0,71} \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{S}{D} \right) \frac{\text{ккал}}{\text{ч}}, \quad (2)$$

где i — число цилиндров;
 D — диаметр цилиндра, см;
 S — ход поршня, см;
 ϵ — степень сжатия;

$c = 0,0637$ — константа для дизелей без наддува;

$c = 0,0683$ — константа для дизелей с наддувом.

Эти формулы по сравнению с экспериментальными данными дают вполне удовлетворительную точность (около 1—5%).

В двигателе с жидкостной системой охлаждения указанное количество тепла передается сначала от стенок цилиндров промежуточному агрегату — жидкости (чаще всего воде), а затем в радиаторе от охлаждающей жидкости — окружающему воздуху. В отношении расхода мощности на работу системы охлаждения решающее значение имеет передача тепла в радиаторе.

При установившемся режиме процесс передачи тепла в радиаторе описывается следующими уравнениями:

а) уравнением теплового баланса

$$Q = c_{pW} G_W (t'_W - t''_W) = c_{pL} G_L (t''_L - t'_L); \quad (3)$$

б) уравнением теплопередачи, впервые выведенным Ньютоном,

$$Q = k F \overline{\Delta t}, \quad (4)$$

Уравнение (3) в известной степени характеризует водяной и воздушный потоки, протекающие через радиатор. Рассмотрение вопросов, связанных с этими потоками, будет произведено в п. 2 и 3.

Уравнение (4) описывает конвективный процесс передачи тепла в радиаторе. В соответствии с этим уравнением количество переданного за час тепла пропорционально поверхности охлаждения радиатора F , коэффициенту теплопередачи k и разности средних температур потока воды, отдающего тепло, и потока воздуха, воспринимающего это тепло. Рассмотрим более подробно величины, входящие в уравнение (4).

Поверхности охлаждения радиаторов. Поверхности охлаждения современных радиаторов представляют собой сложное и ажурное сплетение большого количества различных тонкостенных деталей, образующих в комплексе прямую и косвенную поверхности охлаждения.

Под прямой поверхностью охлаждения понимаются такие поверхности радиатора, которые непосредственно разделяют водяной и воздушный потоки; проходящие через радиатор. Перенос тепла в этом случае осуществляется теплопроводностью в направлении, нормальном к поверхности. Прямой поверхностью в радиаторах являются обычно стенки водяных каналов.

Под косвенной поверхностью (оребрением) понимаются поверхности радиатора, омываемые с обеих сторон воздушным потоком. Распространение тепла в косвенной поверхности происходит теплопроводностью вдоль по оребрению от места его контакта со стенками водяных каналов.

Поверхности охлаждения в радиаторах обычно объединены в сердцевине (остове) и отличаются различной конструкцией выполнения водяных и воздушных каналов.

Для оценки каждого из типов поверхности охлаждения используются следующие основные конструктивные параметры:

а) коэффициент объемной компактности (количество квадратных метров поверхности охлаждения в одном кубическом метре объема сердцевины данного типа);

б) коэффициент фронтальной компактности (количество квадратных метров поверхности охлаждения в радиаторе данной глубины, фронтальная поверхность которого равна 1 м^2);

в) коэффициент весовой компактности (вес одного кубического метра сердцевины);

г) коэффициент оребрения (отношение поверхности охлаждения, омываемой воздухом, к поверхности охлаждения, омываемой водой);

д) коэффициент живого сечения по воздуху (отношение площади живого сечения по воздуху к фронтальной поверхности радиатора).

Значения оценочных параметров для поверхностей охлаждения ряда радиаторов приведены в табл. 5 (гл. II).

Коэффициент теплопередачи. Коэффициент теплопередачи представляет собой тепловой поток через единицу поверхности охлаждения за единицу времени при температурном напоре в 1°C .

Коэффициент теплопередачи является одной из важнейших величин, характеризующих в радиаторе сложный процесс передачи тепла от охлаждающей жидкости к воздуху. Этот процесс состоит из трех этапов (фиг. 1):

- 1) отдачи тепла от воды к стенкам водяных каналов;
- 2) теплопроводности стенок каналов и оребрения;
- 3) отдачи тепла от стенок каналов и оребрения потоку воздуха.

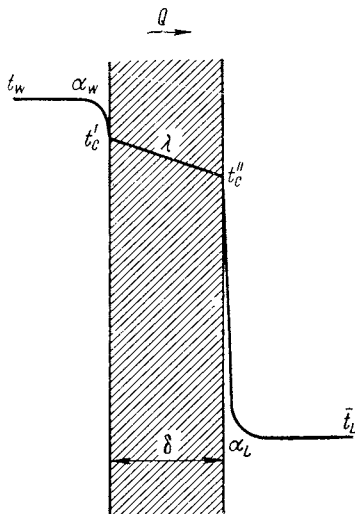
Эти три этапа при установившемся процессе теплообмена в радиаторе описываются соответственно следующими уравнениями:

$$Q = \alpha_w F_w (\bar{t}_w - t'_c); \quad (5)$$

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} F_w (t'_c - t''_c); \quad (6)$$

$$Q = \alpha_L F_L (t''_c - \bar{t}_L). \quad (7)$$

После преобразования этой системы уравнений можно получить:



$$Q = \frac{F_L (\bar{t}_w - \bar{t}_L)}{\frac{1}{\alpha_w} \cdot \frac{F_L}{F_w} + \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{F_L}{F_w} + \frac{1}{\alpha_L}}. \quad (8)$$

Сравнивая уравнения (4) и (8), получаем следующую зависимость для среднего по поверхности коэффициента теплопередачи:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_w} \cdot \frac{F_L}{F_w} + \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{F_L}{F_w} + \frac{1}{\alpha_L}}. \quad (9)$$

В уравнении (9) коэффициент теплопередачи, как это принято, отнесен к внешней ребренной поверхности, а $\frac{F_L}{F_w} = \psi$ — коэффициент ребрения.

Фиг. 1. Схема передачи тепла от воды к воздуху через твердую стенку.

Следует отметить, что уравнение (9) получено исходя из условия постоянства температуры t'_c по всей поверхности, омываемой воздухом, что, строго говоря, не является правильным вследствие наличия температурных градиентов вдоль ребер. Поэтому точное значение коэффициентов теплопередачи устанавливается в процессе специальных испытаний поверхности охлаждения в аэродинамической трубе.

Величина, обратная коэффициенту теплопередачи

$$\frac{1}{k} = \left(\frac{1}{\alpha_w} + \frac{\delta}{\lambda} \right) \psi + \frac{1}{\alpha_L}, \quad (10)$$

называется термическим сопротивлением теплопередачи. Термическое сопротивление сложного процесса теплопередачи представляет собой, как это видно из уравнения (10), простую сумму частных термических сопротивлений, что аналогично закону сопротивления для электрического тока.

Сопrotивление теплопередачи через твердую стенку $[\delta/\lambda]$ — в уравнении (10)] в действительности имеет более сложный вид, что обусловлено наличием на поверхностях радиатора накипи, загрязнений, антикоррозионного покрытия и т. д. При выполнении оребрения (косвенной поверхности охлаждения) из отдельных пластин, ленты и т. п., прикрепляемых к трубкам пайкой или механическим путем, между прямой и косвенной поверхностью трудно получить надежный контакт. В местах контакта остаются воздушные прослойки, скапливается грязь и продукты коррозии. Поэтому уравнение (10) следует переписать в виде:

$$\frac{1}{k} = \left(\frac{1}{\alpha_W} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \psi + \frac{1}{\alpha_L}. \quad (11)$$

Для радиаторов, изготовленных пайкой из алюминия, значение члена $\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ может достигнуть значительной величины, так как процесс пайки алюминия весьма затруднен и поэтому сложно получить надежный контакт во всех местах соприкосновения трубок и оребрения. Еще большая величина указанного члена может быть у радиаторов, имеющих механическое соединение между прямой и косвенной поверхностями.

Влияние состояния пайки на теплопередачу радиатора экспериментально исследовал Н. Б. Марьямов [13]. Он предлагает ввести в уравнение для расчета теплоотдачи радиатора следующие коэффициенты: хорошо опаянный 1,0; плохо опаянный 0,8; неопаянный 0,6.

Материал оребрения радиаторов должен иметь высокую теплопроводность, что видно из уравнения для расчета количества тепла, переданного ребром:

$$Q = \lambda m f t_c \cdot t m h, \quad (12)$$

где $m = \sqrt{\frac{2\alpha_L}{\lambda\delta}}$;

f — поперечное сечение ребра, m^2 ;

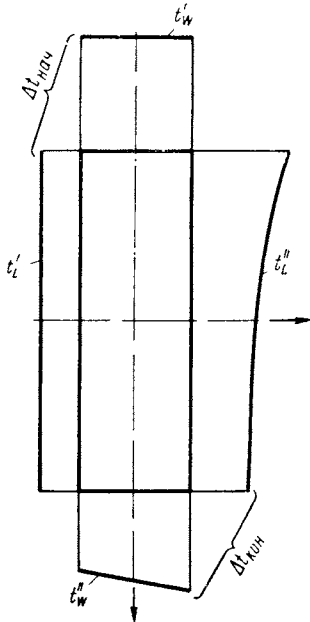
t_c — температура у основания ребра, $^{\circ}C$.

Из уравнения (12) следует, что уменьшение величины λ ведет к значительному сокращению теплоотдачи радиатора. Поэтому для оребрения современных радиаторов чаще всего применяют дефицитную медь ($\lambda = 330$ ккал/м·ч $^{\circ}C$). Использование вместо меди алюминия, латуни или стали при той же толщине оребрения приводит к уменьшению теплоотдачи радиатора.

Для сохранения высоких значений коэффициента теплопередачи при изготовлении радиаторов из алюминия принято увеличивать в два раза толщину оребрения по сравнению с медными радиаторами.

Действительно, из уравнения (12) можно получить, что при одинаковых исходных условиях теплоотдача ребрения алюминиевого ($\lambda = 194 \text{ ккал/м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{С}$; $\delta = 0,0002 \text{ м}$) и медного ($\lambda = 330 \text{ ккал/м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{С}$; $\delta = 0,0001 \text{ м}$) радиаторов отличается всего на 1%, т. е. практически одинакова.

Разности температур. Как известно из теории теплопередачи, в теплообменниках существуют три основные схемы движения



жидкостей: прямого, противотока и перекрестный ток. Первые две схемы предусматривают параллельное течение обменивающихся теплом жидкостей соответственно в одном или противоположном направлениях и почти не применяются в радиаторах автотракторных двигателей. Все радиаторы — это теплообменники перекрестного тока, схема передачи тепла в которых от воды к воздуху показана на фиг. 2.

Как видно из фиг. 2, температура жидкости и воздуха при входе в радиатор постоянна по всей сердцевине, а при выходе из него — неодинакова по сечению водяного и воздушного потоков. Начальный температурный напор воды и воздуха, поступающих в радиатор, равен

$$\Delta t_{нач} = t'_w - t'_L, \quad (13)$$

а конечный температурный напор

$$\Delta t_{кон} = \bar{t}''_w - \bar{t}''_L. \quad (14)$$

Фиг. 2. Схема передачи тепла в радиаторах, как в теплообменниках перекрестного тока.

При движении потоков воды и воздуха через сердцевину радиатора изменение температур по сечению потоков происходит не по линейному, а по логарифмическому закону. Это подтверждается специально выполненными экспериментальными и теоретическими исследованиями [38]. Поэтому средняя разность температур в уравнении (4) всегда является среднелогарифмической разностью $\overline{\Delta t}_{лог}$.

Однако непосредственное определение среднелогарифмической разности температур (среднелогарифмического температурного напора) для радиатора как теплообменника перекрестного тока весьма громоздко. Поэтому на практике среднелогарифмический температурный напор определяют по формуле

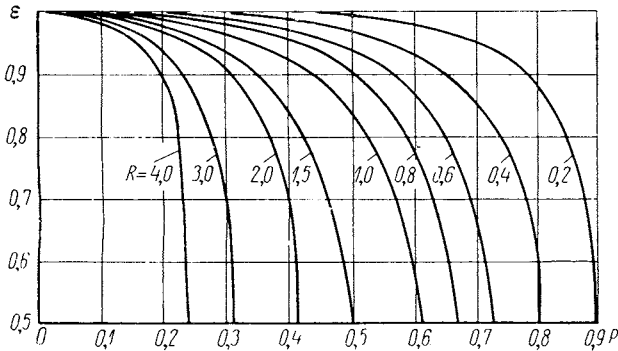
$$\overline{\Delta t}_{лог} = \varepsilon \cdot \overline{\Delta t}_{лог. пр}, \quad (15)$$

где $\varepsilon = f(P, R)$ — поправочный коэффициент, определяемый по графику на фиг. 3, причем:

$$P = \frac{t_L'' - t_L'}{t_W' - t_L'} = \frac{\Delta t_L}{\Delta t_{нач}}; \quad R = \frac{t_W' - t_W''}{t_L'' - t_L'} = \frac{\Delta t_W}{\Delta t_L},$$

$$\bar{\Delta t}_{лог. пр} = \frac{(t_W' - t_L') - (t_W'' - t_L'')}{\ln \frac{(t_W' - t_L')}{(t_W'' - t_L'')}} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}}; \quad (16)$$

здесь $\Delta t_{max} = t_W' - t_L''$ — наибольшая разность температур, °С;
 $\Delta t_{min} = t_W'' - t_L'$ — наименьшая разность температур, °С.



Фиг. 3. График $\varepsilon = f(P, R)$ для перекрестного движения рабочих жидкостей.

При расчете по уравнению (4) иногда используется не средне-логарифмическая, а среднеарифметическая разность температур

$$\bar{\Delta t}_{ар} = \frac{t_W' + t_W''}{2} - \frac{t_L' + t_L''}{2} = \frac{1}{2} (\Delta t_{max} + \Delta t_{min}), \quad (17)$$

т. е. делается предположение, что температура по сечению движущихся через радиатор потоков воды и воздуха меняется не по логарифмическому, а по арифметическому закону.

Соотношение между среднеарифметическим и среднеарифметическим температурными напорами может быть записано следующим образом [38]:

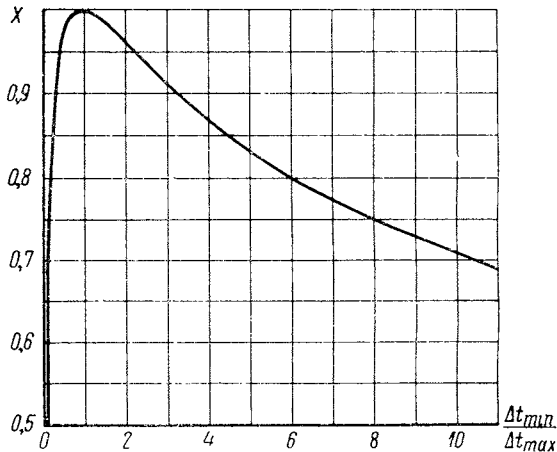
$$\bar{\Delta t}_{лог} = X \cdot \bar{\Delta t}_{ар}. \quad (18)$$

Следовательно,

$$X = \frac{\bar{\Delta t}_{лог}}{\bar{\Delta t}_{ар}} = \frac{2}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} \cdot \frac{\frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}} - 1}{\frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}} + 1},$$

т. е. зависит только от соотношения величин Δt_{\max} и Δt_{\min} . Значения X могут быть определены из графика на фиг. 4, а средне-логарифмический напор — соответствующим пересчетом по формуле (18).

Обработка и обобщение опытных данных. Как показывают результаты испытаний, основным и определяющим процессом в радиаторах автотракторных двигателей является конвективный теплообмен, т. е. процесс теплообмена между воздухом (водой) и



Фиг. 4. График $X = f\left(\frac{\Delta t_{\min}}{\Delta t_{\max}}\right)$, служащий для определения величины средне-логарифмического температурного напора.

стенкой. Этот конвективный процесс называется также вынужденным, так как происходит в условиях вынужденного движения воздуха и воды через радиатор.

Для автотракторных радиаторов как с водяной, так и с воздушной стороны, наиболее характерной является работа при числах $Re : 2000 < Re < 10\ 000$, т. е. в области, переходной от ламинарного режима к развитому турбулентному. Для этой области имеет место непрерывное с ростом числа Re возрастание степени турбулентности потока, а следовательно, и увеличение теплообмена. Форма, относительные размеры и расположение каналов в сердцевине радиатора также самостоятельно влияют на развитие процесса теплообмена.

В этих условиях обобщение и разработка методов расчета на основе известных классических формул теплопередачи для развитого турбулентного движения (формулы Краусольда, Нуссельта и др.) не представляет практического интереса. Поэтому расчет радиаторов должен опираться на конкретные опытные данные

по теплоотдаче для данной конструктивной схемы и геометрических параметров (S_1/d , S_2/d , S_3/d и др.) поверхности охлаждения.

При наличии значительного количества экспериментальных данных следует привлекать для их обработки теорию подобия и выполнять обобщение результатов испытаний в критериальной форме.

Теория подобия позволяет обобщить свойства единичного явления на свойства целой группы взаимно подобных явлений. Для этого, чтобы придать полученным в одном случае экспериментальным данным собирательный характер, необходимо при обработке материалов переходить от применения размерных переменных (скорости потоков, коэффициенты теплоотдачи, температуры и т. п.) к безразмерным переменным.

Для случая вынужденного конвективного теплообмена в автотракторных радиаторах независимыми безразмерными переменными (критериями подобия) являются число Re и число Pr , а зависимой переменной число Nu . Теплоотдача в этом случае определяется фундаментальным уравнением Нуссельта в виде:

$$Nu = c_1 Re^n Pr^p, \quad (19)$$

где c_1 , n и p — характеристические коэффициенты.

Величина критерия Pr для условий, существующих при теплообмене в радиаторах, является постоянной величиной. Коффман [38] рекомендует принимать

$$Pr = 0,74 = \text{const},$$

а показатель степени $p = 0,33$. Тогда уравнение (19) можно упростить и представить так

$$Nu = c Re^n, \quad (20)$$

где $c = c_1 \cdot Pr^p = c_1 \cdot 0,74^{0,33}$.

В развернутом виде уравнение (20) будет иметь вид

$$\frac{\alpha_L d}{\lambda} = c \left(\frac{v_K d}{\nu} \right)^n,$$

или

$$\alpha_L = c \frac{v_K^n}{d^{1-n}} \cdot \frac{\lambda}{\nu^n}. \quad (21)$$

Здесь d — эквивалентный диаметр, он определяется с помощью табл. 1.

При постоянных условиях протекания воздуха в радиаторе как v , так и λ постоянны, а поскольку значения d и β для данного радиатора также являются постоянными величинами, то коэффициент теплоотдачи α_L , равно как и Nu , пропорционален $v_L = \beta v_K$. Следовательно, величина показателя n существенно влияет

на теплоотдачу и уравнение (21) можно привести к простейшему виду

$$\alpha_L = c' v_L^n, \quad (22)$$

где величина c' в данном случае равна:

$$c' = \frac{c \cdot \lambda}{d^{1-n} \nu^n \beta^n}.$$

В логарифмических координатах уравнение (22) представляется прямой с наклоном $n = \operatorname{tg} \alpha$ (фиг. 5). На практике для автотракторных радиаторов коэффициент n

Таблица 1

Эквивалентный диаметр каналов с различной формой сечения

Форма сечения канала	$d_{эк}$
Круг диаметром d	d
Квадрат со стороной a	a
Равносторонний треугольник со стороной a	$0,58a$
Прямоугольник со сторонами a и b :	
$\frac{a}{b} \rightarrow 0$	$2a$
$\frac{a}{b} = 0,25$	$1,6a$
$\frac{a}{b} = 0,5$	$1,3a$
Эллипс (a — малая и b — большая полуоси):	
$\frac{a}{b} = 0,3$	$1,4a$
$\frac{a}{b} = 0,5$	$1,3a$
$\frac{a}{b} = 0,7$	$1,17a$

колеблется в пределах от 0,5 до 0,9. Его величина зависит в основном от конструкции и технологии изготовления поверхности охлаждения радиатора. Коэффициент c' определяется ординатой, соответствующей абсциссе $v_L = 1$ м/сек.

Нередко при обработке опытных данных по коэффициенту теплопередачи для автотракторных радиаторов делается допущение о равенстве коэффициентов теплопередачи и теплоотдачи на воздушной стороне, т. е.

$$k \approx \alpha_L, \quad (23)$$

что допустимо, так как в случае водовоздушного радиатора

$$\alpha_L \ll \alpha_W,$$

т. е. теплоотдачу в радиаторе в основном определяют условия на внешней воздушной стороне. Действительно, как показывают результаты испытаний, для существующих конструк-

ций радиаторов в среднем обычно $\alpha_L \approx 100$ ккал/м²·ч·°С и $\alpha_W \approx 2500 - 5000$ ккал/м²·ч·°С, т. е. $1/\alpha_L$ больше $1/\alpha_W$ в 25—50 раз.

В табл. 5 приведены значения показателя степени n для различных поверхностей охлаждения.

Для перехода от конкретных условий экспериментов (a , v_L , v_W и др.) к безразмерным критериям — (Re и Nu) поступают следующим образом.

Чтобы получить число Re, нужно значение скорости (например, скорости воздуха) умножить на отношение $\frac{\rho d}{\mu} = \frac{d}{\nu}$, причем,

если скорость воздуха рассматривалась перед фронтом радиатора, то ее величину необходимо предварительно разделить на коэффициент живого сечения по воздуху.

Для получения числа Nu величину коэффициента α_L (в нашем случае, иногда принимают $\alpha_L \approx k$) умножают на отношение d/λ .

При обработке результатов испытаний радиаторов в критериях подобия в полученные аналитические выражения вводятся величины относительных линейных размеров, характеризующих геометрию охлаждающей поверхности. Такими размерами могут служить, например, для трубчатых сердцевин при использовании круглых водяных каналов отношения шага водяных каналов по фронту S_1 и шага по глубине радиатора S_2 к диаметру канала d . Если же используются трубы овального или плоскоовального сечения, то в рассмотрение может быть дополнительно введено отношение большой S_3 и малой d осей водяных трубок.

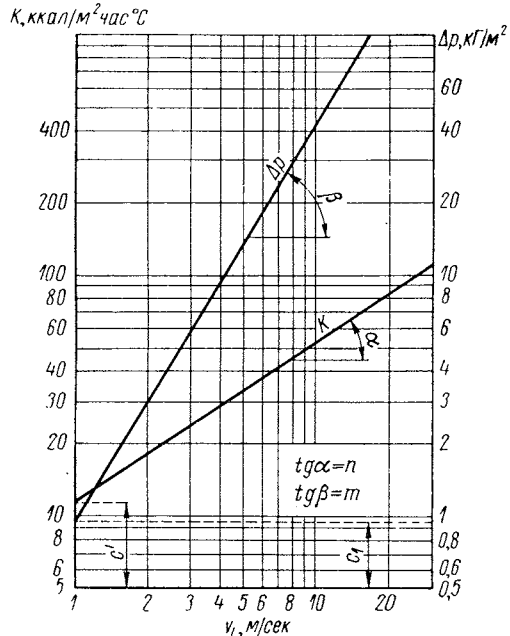
В этом случае аналитическое выражение для безразмерного коэффициента теплоотдачи — критерия Нуссельта будет представлено как

$$Nu = f \left(\frac{S_1}{d}; \frac{S_2}{d}; \frac{d}{S_3}; Re \right), \quad (24)$$

что дает возможность по задаваемой геометрической характеристике поверхности охлаждения определять значение коэффициента теплопередачи.

2. Воздушный поток через радиатор (аэродинамическое сопротивление)

Процесс теплообмена в радиаторе органически неотделим от процесса затраты энергии, которая расходуется на движение теплообменивающихся сред. Рассмотрим вопросы, связанные с движением воздушного потока через радиатор (фиг. 6).

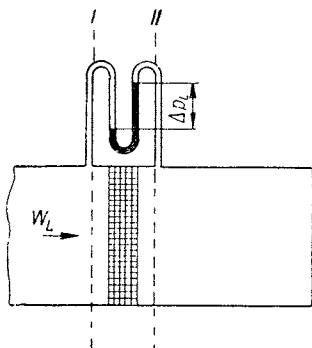


Фиг. 5. Характеристические коэффициенты c' , c_1 , n , m , определяющие коэффициент теплопередачи и аэродинамическое сопротивление поверхности охлаждения автомобильного радиатора.

При установившемся режиме через радиатор проходит воздушный поток, имеющий объемный расход W_L . Расход воздуха определяется полным напором H и скоростью воздуха перед фронтом радиатора v_L . Полный напор H в определенном сечении воздушного тракта складывается из давлений статического $p_{ст}$ и динамического p_d (скоростного напора), т. е.

$$H = p_{ст} + p_d = p_{ст} + \frac{\gamma v_L^2}{2g}. \quad (25)$$

Чтобы привести в движение через радиатор воздушный поток, необходимо затратить определенную мощность на преодоление сопротивления, которое возникает на его пути (между сечениями одинаковой площади $I-I$ до и $II-II$ после радиатора).



Фиг. 6. Схема воздушного потока через радиатор.

Мощность воздушного потока, проходящего непосредственно через радиатор, определяется из следующего выражения:

$$N_v = \frac{\Delta p_L W_L}{75} = \frac{\Delta p_L F_{фр} \gamma v_L}{75 \gamma} \text{ л. с.}, \quad (26)$$

т. е. определяется расходом воздуха через радиатор и его аэродинамическим сопротивлением.

Аэродинамическое сопротивление радиатора может быть представлено как (фиг. 6):

$$\Delta p_L = p_{I-I} - p_{II-II} = \zeta \frac{\rho v_L^2}{2} = \zeta \frac{\gamma v_L^2}{2g} \text{ кг/м}^2. \quad (27)$$

Иногда аэродинамическое сопротивление оказывается удобнее характеризовать коэффициентом аэродинамического сопротивления, значение которого может быть получено из формулы (27):

$$\zeta = \frac{\Delta p_L}{\frac{\rho}{2} v_L^2}. \quad (28)$$

Аэродинамическое сопротивление радиатора определяется наличием ряда потерь [13, 40]: на трение, местных и на нагревание воздушного потока.

Потери на трение обусловлены вязкостью воздуха и проявляются только в местах его безотрывного движения. Они пропорциональны величине охлаждающей поверхности, т. е. относительной глубине радиатора. Если среднее значение коэффициента трения на единицу относительной глубины радиатора обозначить через $\lambda_{мп}$, то потери на трение выразятся по формуле Дарси:

$$\Delta p_{мп} = \lambda_{мп} \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho v_L^2}{2}. \quad (29)$$

Местные потери (потери на сужение и расширение воздушного потока на поворотах или препятствиях) в радиаторах чаще всего пропорциональны числу рядов трубок, так как при прохождении через каждый ряд поток претерпевает сужение и расширение. Обозначив через ζ_m коэффициент потерь на один ряд трубок, получим, что потери на сужение и расширение потока будут равны:

$$\Delta p_m = \zeta_m z \frac{\rho}{2} v_L^2. \quad (30)$$

По данным С. С. Бермана [6], сопротивление трения с достаточной для практических целей точностью можно считать пропорциональным $v_L^{1,75}$ а местные сопротивления — пропорциональными $v_L^{2,0}$.

Потери на нагревание воздушного потока обусловлены увеличением объема, а следовательно, и скорости воздушного потока за счет его нагревания в радиаторе, а также соответствующим увеличением коэффициента кинематической вязкости воздуха.

Для данных конкретных условий потери на нагревание увеличиваются с увеличением разности температур входящих в радиатор воды и воздуха.

Величина дополнительного сопротивления вследствие нагревания воздуха в радиаторе определяется по формуле

$$\Delta p_n = \frac{\gamma v_L^2}{g} \cdot \frac{T'' - T'}{T'} = \frac{\rho v_L^2}{2} \cdot \frac{2(T'' - T')}{T'}. \quad (31)$$

Расчет полного сопротивления потоку жидкости в каком-либо техническом устройстве обычно основан на допущении, что сопротивление последовательно включенных элементов равно сумме их отдельных сопротивлений, т. е.

$$\Delta p_L = \Delta p_\tau + \Delta p_m + \Delta p_n = \frac{\rho v_L^2}{2} \left[\lambda_{mp} \frac{l}{d} + \zeta_m z + \frac{2(T'' - T')}{T'} \right]. \quad (32)$$

Однако применительно к радиаторам, это допущение не является достаточно строгим, так как сопротивление каждого элемента зависит от характера движения воздуха на предшествующих участках. В частности, например, сопротивление прямого участка за поворотом значительно выше, чем сопротивление такого же прямого участка перед поворотом. Кроме того, представляет значительные трудности определение значений коэффициентов λ_{mp} и ζ_m для сложных по сечению и глубине воздушных каналов, образованных в сердцевинах радиаторов.

Поэтому весьма часто при подсчете по формуле (32) появляется расхождение рассчитанных величин сопротивления в сравнении с полученными при эксперименте.

В связи с этим на практике сопротивление радиаторов чаще всего определяется при продувке в аэродинамической трубе, а результаты испытаний обрабатываются в виде уравнения:

$$\Delta p_L = c_1 v_L^m. \quad (33)$$

Графически уравнение (33) представляет собой в логарифмической анаморфозе, как и уравнение (22), прямую линию, на которой группируются опытные точки, полученные при эксперименте (фиг. 5).

Значения характеристических коэффициентов c_1 и m зависят от конструкции и типа применяемой в радиаторе поверхности охлаждения. Значение показателя степени $m = \operatorname{tg} \beta$ для разных радиаторов колеблется в пределах от 1,40 до 2,0, т. е. зависит от преобладания в величине сопротивления Δp_L доли, приходящейся на сопротивление трения или местные сопротивления.

Следует остановиться на влиянии, оказываемом изменением глубины радиатора на величину его сопротивления.

Из формулы (32) ясно, что все составляющие величины ее правой части в первом приближении изменяются пропорционально глубине радиатора. И в действительности, как показывают испытания [38, 50], формула (33) должна быть в этом случае представлена в следующем виде:

$$\Delta p_L = c_1 v_L^m l^q.$$

Величина показателя q в последней формуле лежит в пределах от 1,0 до 1,1 и лишь редко достигает 1,23 [38, 50]; в связи с этим формула часто представляется в упрощенном виде:

$$\Delta p_L = c_1 v_L^m l. \quad (34)$$

В табл. 5 даны значения показателя степени m для различного типа поверхностей охлаждения.

Для обобщения экспериментальных данных по аэродинамическому сопротивлению радиаторов используется безразмерная зависимость вида

$$\operatorname{Eu} = f(\operatorname{Re}), \quad (35)$$

где критерий Эйлера

$$\operatorname{Eu} = \frac{\Delta p_L}{\rho v_k^2} = \frac{\Delta p_L g}{\gamma v_k^2}. \quad (36)$$

Между критерием Эйлера и коэффициентом аэродинамического сопротивления имеется следующее соотношение

$$\operatorname{Eu} = \frac{\xi}{2} \beta^2 \frac{273 + t'_w}{273 + t_w}. \quad (37)$$

При исследовании влияния геометрических характеристик поверхности охлаждения на аэродинамическое сопротивление зависимость (35) расширяется, так как в рассмотрение вводятся гео-

метрические параметры : $(S_1; S_2, S_3, d$ и $z)$ и принимает следующий вид:

$$Eu = f \left(\frac{S_1}{d}; \frac{S_2}{d}; \frac{d}{S_3}; z; Re \right). \quad (38)$$

3. Циркуляция воды через радиатор

Эффективность работы системы охлаждения в целом зависит от ряда факторов, связанных с циркуляцией воды через радиатор. К таким факторам относятся:

1) гидравлическое сопротивление радиатора и зависящий от него расход мощности на привод водяного насоса;

2) равномерность распределения воды по трубкам сердцевины радиатора;

3) эффективное отделение воздуха и пара из потока воды, движущейся через радиатор, или так называемая деаэрация;

4) избыточное давление, создаваемое в цепи циркуляции, которое в первую очередь предназначено для повышения температуры кипения воды и связанного с ней температурного напора $\Delta t_{нач}$.

Особое значение эти факторы имеют для алюминиевых радиаторов с оригинальной конструкцией гидравлического тракта (см. ниже фиг. 32, 36 и 44).

При прохождении через радиатор потока воды расходуется мощность, величина которой определяется из уравнения:

$$N_W := \frac{\Delta p_W W_W}{75} = \frac{\Delta p_W F_{жW} v_W}{75} \text{ л. с.} \quad (39)$$

В этом уравнении Δp_W представляет собой величину суммарного гидравлического сопротивления радиатора, которая складывается из гидравлического сопротивления непосредственно сердцевины (трубки или водяные каналы) и гидравлического сопротивления подводящей и отводящей арматуры радиатора (патрубки, бачки, коллекторы и т. п.).

Гидравлическое сопротивление сердцевины радиатора зависит от конструкции водяных каналов; оно максимально для радиаторов сотового типа, в которых водяные каналы имеют извилистый профиль, обуславливающий сложный характер протекания воды, и минимально для трубчатых сердцевин, сопротивление в которых в основном определяется формулой (29).

В современных радиаторах применяются трубки с различной формой поперечного сечения: плоскоовальные, овальные и круглые. Компактность и эффективность поверхности охлаждения возрастает с уменьшением диаметра трубок; поэтому размеры сечения трубок обычно выбирают минимальными, исходя из соображений эксплуатационного характера, т. е. при этом учитывается возможность их закупорки вследствие засорения и отложения накипи.

Гидравлические диаметры трубок определяются по табл. 1. У существующих радиаторов, имеющих различную конструкцию поверхности охлаждения, величины диаметров трубок очень близки между собой и составляют в среднем 0,0034—0,0035 м. Это значение d_w подставляют в формулу (29) при определении гидравлического сопротивления сердцевины.

Гидравлическое сопротивление радиатора, как и аэродинамическое сопротивление в случае воздушного потока, является функцией числа Рейнольдса или (для радиатора данной конструкции) — функцией скорости воды в каналах, т. е.

$$\Delta p_w = f(\text{Re}) = f\left(\frac{v_w d_w}{\nu}\right) = f(v_w). \quad (40)$$

При испытаниях гидравлического сопротивления радиаторов результаты испытаний обрабатываются в виде зависимостей:

$$\Delta p_w = c_2 \cdot \text{Re}^{n_1} = c_3 v_w^{n_1}. \quad (41)$$

В логарифмической анаморфозе эта функция имеет вид прямой с наклоном $n_1 = \text{tg } \beta_1$. Значение показателя степени n_1 для сердцевин разного типа лежат в пределах от 1,6 до 2,0.

Существенное значение для нормальной работы автотракторного радиатора имеет распределение потока жидкости, проходящего по трубкам или водяным каналам сердцевины радиатора. Наибольшей эффективностью обладает сердцевина, в которой во всех трубках скорость воды имеет одинаковую величину.

Однако в действительности в существующих конструкциях радиаторов скорости воды по трубкам сердцевины значительно отличаются от средней величины скорости по всей сердцевине. Причиной этого являются неудачные конструкции (форма и размеры) входного и выходного коллекторов радиатора, а также неудачное расположение в них подводящего и отводящего патрубков.

Неравномерность распределения воды по сердцевине радиатора приводит к снижению его тепловой эффективности и срока службы. В зимнее время существует опасность замерзания воды в тех трубках радиатора, где скорость воды оказывается невысокой, что вызывает разрыв этих трубок и течь радиатора.

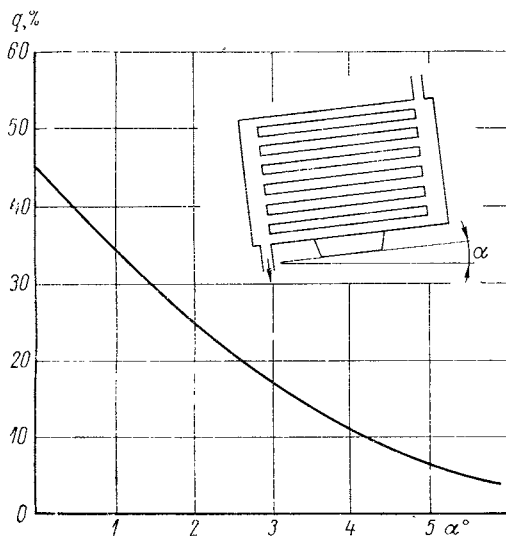
Для оценки степени неравномерности распределения воды по сердцевине радиатора служит коэффициент неравномерности — отношение истинного значения скорости воды в трубке радиатора к среднерасходной скорости воды:

$$K_1 = \frac{v_{wmp}}{\bar{v}_w} = v_{wmp} \cdot \frac{F_{\text{сис}w}}{W_w}. \quad (42)$$

В настоящее время начинают получать распространение, особенно в легковых автомобилях, конструкции радиаторов с так

называемым поперечным водяным потоком. Например, фирма «Форд» (США) устанавливает подобные радиаторы на легковые автомобили, начиная с 1958 г.

В радиаторах такой конструкции движение воды происходит по горизонтальным трубкам от одного бокового коллектора к другому. Использование радиаторов с поперечным водяным потоком позволяет получить ряд преимуществ. Появляется возможность, во-первых, значительно сократить высоту передней части моторного



Фиг. 7. Влияние угла наклона α установки радиатора с поперечным водяным потоком на количество остающейся в нем воды q .

отделения за счет снижения конструктивной высоты радиатора (это особенно важно для современных легковых автомобилей) и, во-вторых, увеличить фронтальную поверхность радиатора за счет увеличения его ширины, при этом не ухудшая значительно условий обдува сердцевины вентилятором.

Недостатком этого радиатора является опасность повреждения трубок при замерзании воды, оставшейся при опорожнении радиатора. Поэтому рекомендуется установка радиатора на машине с наклоном $5-7^\circ$ к горизонту в сторону выходного патрубка, что также дает возможность избежать образования в сердцевине воздушных пробок (фиг. 7).

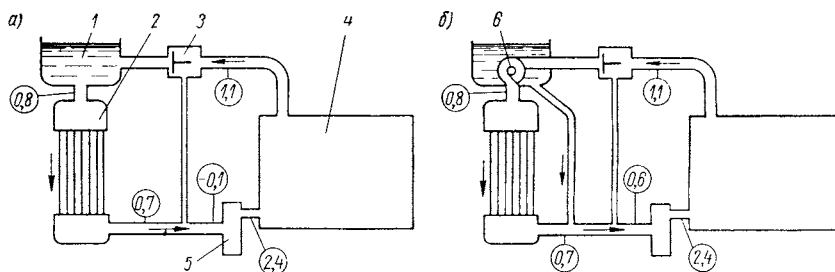
В цепи циркуляции системы охлаждения напор, создаваемый водяным насосом, полностью затрачивается на преодоление гидравлических сопротивлений всех элементов замкнутого круга циркуляции. Чтобы обеспечить нормальную работу системы охлаждения, давление в любой точке круга циркуляции не должно быть меньше

давления парообразования применяемой охлаждающей жидкости; при этом давление на входе в водяной насос всегда оказывается наименьшим.

Чрезмерно низкое давление на входной стороне насоса при высоких температурах циркулирующей воды может вызвать кавитацию. При кавитации за счет разрежения у входа в насос из воды выделяются пары и воздух. Происходит резкое падение давления и разрыв водяной струи, и вследствие этого резкое снижение производительности насоса. Из-за ударов воды иногда может наступить разрушение насоса и трубопроводов.

Для надежной работы насоса без кавитации давление на входе в него должно превышать давление парообразования на величину кавитационного запаса

$$\Delta p_{\text{кав}} = 1,4 \div 4,0 \text{ м. вод. ст.}$$



Фиг. 8. Схемы включения радиаторов в цепь циркуляции системы охлаждения:
а — последовательное; б — параллельное.

Цифры у характерных точек цепи показывают давление в кг/см².

В современных системах охлаждения в основном применяется последовательное и параллельное включение радиатора в цепь циркуляции.

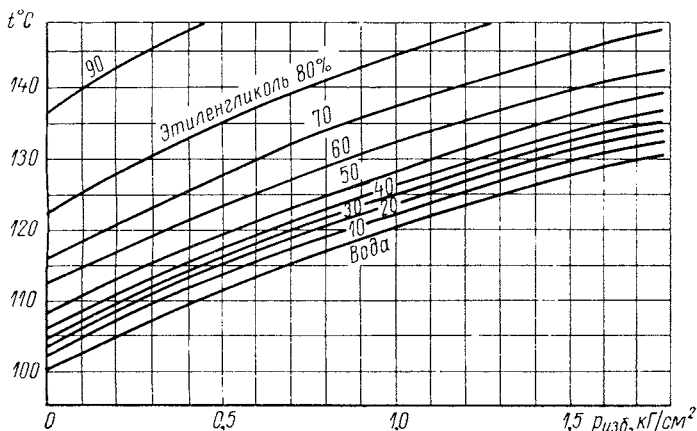
При последовательном включении (фиг. 8, а), применяющемся в большинстве случаев, поток воды движется от насоса 5 к двигателю 4, термостату 3, расширительному бачку 1 и радиатору 2. От радиатора вода поступает обратно в насос. Обводная магистраль служит для создания малого круга циркуляции при закрытом клапане термостата.

При параллельном включении радиатора (фиг. 8, б), расширительный бачок соединяется компенсационной (статической) трубкой с точкой системы, расположенной как можно ближе к входу в водяной насос. Вода в этом случае движется от расширительного бачка, оборуодованного сепаратором б, к насосу параллельными потоками: через радиатор и по статической трубке, повышая давление на входе в насос и тем самым уменьшая опасность появления кавитации.

В настоящее время в двигателях применяются в основном закрытые системы охлаждения под давлением, т. е. такие системы, цепь циркуляции воды в которых изолирована от внешних условий. Использование системы под давлением существенно повышает эффективность охлаждения и уменьшает потери воды. В этих системах используется явление повышения температуры кипения жидкости при увеличении давления.

На фиг. 9 показано влияние давления на температуру кипения воды и водо-этиленгликолевых смесей различной концентрации (антифризов).

Повышение давления в системах охлаждения двигателей с успехом применялось на военных машинах во время второй



Фиг. 9. Влияние избыточного давления на температуру кипения жидкостей, используемых для заполнения систем охлаждения двигателей.

мировой войны. С тех пор величина избыточного давления в закрытых системах имеет постоянную тенденцию к повышению. Так, с 1961 г. избыточное давление в системах охлаждения американских легковых автомобилей было повышено до 0,9—1,1 кг/см². В новых отечественных автомобилях давление также повышено. Например, в автомобиле ГАЗ-53Ф давление открытия парового клапана составляет 0,45—0,55 кг/см², а в автомобиле ЗИЛ-130 — 1 кг/см².

Для обеспечения нормальной работы системы охлаждения требуется предусмотреть устранение возможности появления аэрации. Аэрация — это попадание воздуха и пара в поток охлаждающей жидкости, циркулирующей через радиатор. Аэрация вызывает [36] уменьшение эффективности охлаждения двигателя вследствие снижения коэффициента теплоотдачи в водяной рубашке двигателя и на внутренней стороне радиатора, а также вследствие

падения производительности водяного насоса, что приводит к уменьшению скорости циркуляции воды в системе; может вызывать преждевременное повреждение двигателя или его деталей вследствие местных перегревов в местах образования паровых мешков. К таким повреждениям относятся трещины в головке блока, выкрашивание гильз и др. Может иметь место непрерывная потеря охлаждающей жидкости. Чем больше содержится в жидкости воздуха, тем больше она расширяется при нагреве и ее избыток выливается через клапан. Наблюдается повышенная коррозия радиатора, блока двигателя и водяного насоса. В случае использования антифризов на этиленгликолевой основе при аэрации происходит чрезмерное пенообразование, приводящее к потерям антифриза, а также выпадение из него гликолевой кислоты, активно вызывающей коррозию. Отмечены случаи повышения концентрации ионов водорода рН в охлаждающей жидкости вследствие появления аэрации.

Причинами, вызывающими появление аэрации, являются:

а) удар охлаждающей жидкости, поступающей с большой скоростью в верхний бачок радиатора, и перемешивание ее с находящимся в баке воздухом;

б) образование пузырьков пара при срыве струй воды с лопастей водяного насоса;

в) подсос воздуха через уплотнения в системе охлаждения (хомуты шлангов, прокладки двигателя, сальники водяного насоса и т. п.);

г) образование воздушных и паровых мешков в водяной рубашке двигателя и в соединительных трубопроводах, особенно между нижним бачком радиатора и водяным насосом.

По имеющимся данным [37, 43], устранение аэрации дает возможность увеличить значение оценочного параметра, так называемой критической температуры воздуха (см. п. 5) — на 8—15° С. К числу конструктивных мероприятий, устраняющих аэрацию, относятся:

1) выбор правильной конструкции расширительного бачка и его надлежащего включения в цепь циркуляции;

2) поддержание уплотнений в системе охлаждения в исправном состоянии;

3) применение надежной конструкции крыльчатки водяного насоса для исключения внутренней кавитации;

4) снижение сопротивлений элементов цепи циркуляции жидкости (например, термостатов), что уменьшает вероятность подсосов воздуха.

Наиболее важным мероприятием является правильная конструкция расширительного бачка радиатора, так как именно в нем вследствие повышения тепловой напряженности современных систем охлаждения и соответствующего увеличения скорости водяного потока создаются условия, способствующие аэрации.

4. Метод сравнения поверхностей охлаждения

При разработке новой конструкции радиатора необходимо выбрать такую геометрию поверхности охлаждения, которая при наименьшем весе и габаритах обеспечила бы наименьший расход энергии для осуществления заданной теплоотдачи.

Одним из методов сравнения эффективности теплообменников является оценка поверхностей охлаждения, предложенная академиком М. В. Кирпичевым [9]. В основу этого метода положено сравнение отношений двух видов энергии, выражающихся зависимостью

$$E = \frac{Q}{AN_v}, \quad (43)$$

где энергетический коэффициент E представляет собой отношение количества тепла Q , отбираемого в единицу времени от поверхности охлаждения, к мощности AN_v (в тепловых единицах), затрачиваемой на преодоление сопротивления движению воздушного потока.

Количество тепла Q является функцией температурного напора Δt , который, в свою очередь, зависит от особенностей конструкции теплообменника и, в частности, от его глубины. Также зависит от глубины теплообменника и величина

$$AN_v = 3600 \cdot A \cdot \Delta p_L \cdot v_L F_{\phi p} \text{ ккал/ч}, \quad (44)$$

так как сопротивление Δp_L в формуле (44) является функцией глубины радиатора.

Данный метод оценки предусматривает, что сравнение поверхностей охлаждения производится при равных объемах и глубинах теплообменников; это весьма трудно выполнить применительно к автотракторным радиаторам.

Исключение влияния температурного напора при сравнении эффективности поверхностей охлаждения может быть осуществлено отнесением теплоотдачи радиатора к единице температурного напора (1°C).

Кроме того, если отведенное от радиатора тепло и затраченную на его отвод мощность отнести к единице поверхности охлаждения, то критерием оценки эффективности радиатора будет являться выражение

$$E = \frac{k}{AN_{v_0}}, \quad (45)$$

где

$$AN_{v_0} = 3600 \cdot A \Delta p_L v_L \frac{F_{\phi p}}{F_L}. \quad (46)$$

В этом случае энергетический коэффициент E характеризует отношение количества тепла, отданного единицей поверхности при температурном напоре в 1°C , к затратам энергии на преодоление аэродинамического сопротивления в единицу времени на единицу поверхности охлаждения.

Ниже излагается метод оценки сравнительной эффективности радиаторов, при выводе которого использованы основные положения работы В. М. Антуфьева [2]¹.

Преобразуем формулу (45) с помощью степенных зависимостей, выражающих влияние скорости воздушного потока v_L на величины коэффициента теплопередачи k и аэродинамического сопротивления Δp_L .

При определении в формуле (22) коэффициента c' значения k (или α_L) для сравниваемых автомобильных и тракторных радиаторов следует брать при одинаковой средней скорости воды в сердцевине. Это положение обусловлено тем, что, как уже упоминалось выше, гидравлические диаметры d_w водяных трубок современных радиаторов примерно равны (для автомобилей МЗМА и ГАЗ $d_w = 0,0035$ м; для ЗИЛ-130 $d_w = 0,0034$ м и т. п.).

В случае одинаковых скоростей воды будут близки значения чисел Re и поэтому величины коэффициента теплоотдачи от воды к стенке трубок при сравнении радиаторов будут практически одинаковы.

При этих условиях наиболее объективно сравниваются коэффициенты теплоотдачи по воздушной стороне, которая в основном и определяет степень совершенства радиаторов.

С учетом формулы (33) выражение (46) можно записать следующим образом:

$$AN_{v_0} = 3600 Ac_1 \frac{F_{\phi p}}{F_L} v_L^{m+1}. \quad (47)$$

Отношение $F_{\phi p}/F_L$ представляет собой обратную величину коэффициента фронтальной компактности, т. е. $\frac{F_{\phi p}}{F_L} = \frac{1}{\Phi_{\phi p}}$.

Следовательно, величина AN_{v_0} зависит только от аэродинамических качеств поверхности охлаждения, определяемых характеристическими коэффициентами c_1 и m , геометрических характеристик поверхности ($\Phi_{\phi p}$) и от скорости воздуха v_L .

С учетом уравнений (22) и (23) можно привести выражение (45) к виду

$$E = \frac{c' v_L^n}{AN_{v_0}}. \quad (48)$$

Так как из (47)

$$v_L = \left(\frac{\Phi_{\phi p}}{3600 Ac_1} \right)^{\frac{1}{m+1}} (AN_{v_0})^{\frac{1}{m+1}},$$

то

$$E = c' \left(\frac{\Phi_{\phi p}}{3600 Ac_1} \right)^{\frac{n}{m+1}} (AN_{v_0})^{\frac{n}{m+1}-1}. \quad (49)$$

¹ Разработка метода выполнена совместно с В. Г. Обрядиным.

Пользуясь уравнением (49), можно количественно оценить тепловую эффективность сравниваемых поверхностей охлаждения в зависимости от затрачиваемой мощности.

При одинаковых значениях подводимой мощности AN_{v0} отношение величин E и E_0 двух сравниваемых поверхностей охлаждения покажет их сравнительную тепловую эффективность. Если принять какую-то поверхность охлаждения за эталон (E_0), то можно определить так называемый коэффициент эффективности τ для любой поверхности

$$\tau = \frac{E}{E_0}. \quad (50)$$

Приняв для эталонной поверхности индекс «0» (E_0, c'_0, c_{10} и т. д.), получим из уравнения (50) зависимость вида

$$\tau = f(AN_{v0}).$$

Сравнивая тепловую эффективность поверхностей охлаждения при одинаковых значениях подводимой мощности AN_{v0} , запишем:

$$\tau = \frac{E}{E_0} = \frac{c' \left(\frac{\Phi \phi p}{3600 \cdot A \cdot c_1} \right)^{\frac{n}{m+1}} (AN_{v0})^{\frac{n}{m+1} - \frac{n_0}{m_0+1}}}{c'_0 \left(\frac{\Phi \phi p_0}{3600 \cdot A \cdot c_{10}} \right)^{\frac{n_0}{m_0+1}}}. \quad (51)$$

Формула (51) позволяет по известным аэродинамическим, тепловым и геометрическим параметрам определить сравнительную тепловую эффективность поверхностей охлаждения при одинаковой величине затрачиваемой на охлаждение мощности AN_{v0} .

Однако сравнение только по тепловой эффективности еще не является полным. Важно знать габариты и вес сравниваемых поверхностей охлаждения, обеспечивающих одинаковый теплосъем при равных затратах мощности. Сравнительную оценку можно произвести при помощи объемного коэффициента τ_v :

$$\tau_v = \frac{V}{V_0} \quad (52)$$

и весового коэффициента τ_g :

$$\tau_g = \frac{g_e}{g_{e0}}, \quad (53)$$

где V, g_e и V_0, g_{e0} — соответственно объемы и веса сердцевин сравниваемой и эталонной поверхностей охлаждения.

Так как охлаждающие поверхности сравниваются при одинаковых теплосъемах, то, очевидно,

$$kF_L = k_0F_{L0} = \text{idem}; \quad (54)$$

$$\frac{F_L}{F_{L0}} = \frac{k_0}{k} = \frac{E_0}{E} = \frac{1}{\tau}. \quad (55)$$

Воспользовавшись коэффициентом объемной компактности, преобразуем формулу (52):

$$\tau_v = \frac{F_L/\varphi}{F_{L0}/\varphi_0} = \frac{F_L}{F_{L0}} \cdot \frac{\varphi_0}{\varphi} = \frac{1}{\tau} \cdot \frac{\varphi_0}{\varphi}. \quad (56)$$

Введя понятие коэффициента весовой компактности φ_g , получим

$$\tau_g = \frac{g_e}{g_{e0}} = \frac{\varphi_g V}{\varphi_{g0} V_0},$$

или

$$\tau_g = \tau_v \frac{\varphi_g}{\varphi_{g0}}. \quad (57)$$

Пользуясь изложенным методом, можно производить объективную оценку сравнительной эффективности различных поверхностей охлаждения автотракторных радиаторов.

5. Радиатор — составная часть системы охлаждения

Нормальное охлаждение автотракторного двигателя в различных условиях эксплуатации обеспечивается не одним радиатором, а совокупностью конструктивных элементов, образующих систему охлаждения: радиатор, вентилятор, воздушный тракт, водяной насос, трубопроводы и т. д. При проектировании машин производится взаимная увязка этих элементов, расчет их совместной работы при различных режимах эксплуатации, а также обработка вопросов регулирования системы.

Общая оценка эффективности системы охлаждения автомобиля или трактора не может быть осуществлена при помощи частных параметров, оценивающих отдельные элементы системы, т. е. таких параметров, как коэффициент теплопередачи и сопротивление радиатора, напор вентилятора или водяного насоса и т. д.

Эти частные параметры могут меняться в весьма широких пределах для различных случаев, обеспечивая вместе с тем путем разумного взаимного компромиса вполне удовлетворительную работу системы охлаждения в целом. Для осуществления полной оценки системы охлаждения необходим выбор параметра, который учитывал бы в общей форме влияние большого количества разнообразных факторов.

Постоянство количества тепла, отводимого от двигателя в охлаждающую жидкость при конкретном режиме его работы и определенной температуре окружающего воздуха, характеризуется установившейся температурой охлаждающей жидкости в системе охлаждения, т. е. установившейся температурой на входе в радиатор t'_w и выходе из него t''_w .

Следовательно, при определенных физических параметрах окружающего воздуха (температура t_L , давление и влажность) будет

оставаться постоянной и разность начальных температур, определяемая по выражению (13).

Некоторые авторы [8, 43] рассматривают разность начальных температур как параметр, оценивающий эффективность системы охлаждения, т. е. эффективность совместной работы всех элементов системы охлаждения.

Более удобно в качестве оценочного параметра использовать величину так называемой критической температуры воздуха, т. е. такой температуры, при которой закипит жидкость в системе охлаждения при данных условиях по нагрузке и скорости движения машины.

Величина критической температуры окружающего воздуха определяется по формуле:

$$t_{кр} = t_{кин} - (t'_W - t'_L) = t_{кин} - \Delta t_{нач}. \quad (58)$$

Температура кипения охлаждающей жидкости $t_{кин}$ в формуле (58) находится по фиг. 9 в зависимости от давления, на которое отрегулирован клапан в системе охлаждения, и типа применяемой охлаждающей жидкости. Однако чаще всего при определении $t_{кр}$ исходят из атмосферного давления, т. е. считают $t_{кин} = 100^\circ \text{C}$ и рассматривают повышенное давление, на которое отрегулирован клапан, как дополнительный фактор надежности.

При использовании для оценки систем охлаждения величины критической температуры воздуха предполагают, что имеется возможность производить оценку и сравнение результатов испытаний, проведенных при различных состояниях окружающего воздуха, т. е. что при этом

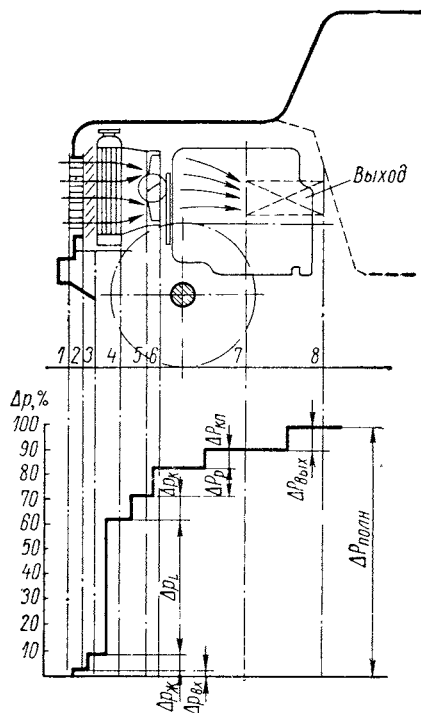
$$\Delta t_{нач} = t'_W - t'_L = \text{idem}. \quad (59)$$

Действительно, работа системы охлаждения при изменяющихся значениях температуры окружающего воздуха зависит в основном от влияния этой температуры на мощность, развиваемую двигателем, а следовательно, и на количество тепла, выделяемое им в охлаждающую жидкость, теплоотдачу радиатора и весовой поток воздуха, создаваемый вентилятором.

Как показывает опыт [46], поправки, учитывающие влияние на упомянутые три фактора изменения плотности воздуха и его теплоемкости, являются весьма сложными, к тому же величина этих поправок обычно лежит в пределах точности проводимых экспериментов. Поэтому при практических расчетах уравнение (59) дает вполне удовлетворительные результаты.

Как уже было сказано выше, работа системы охлаждения на автомобиле или тракторе при отсутствии значительной аэрации в гидравлическом контуре в основном определяется условиями на внешней (воздушной) стороне или, иными словами, характером и интенсивностью воздушного потока, проходящего через радиатор.

Изучение этого воздушного потока, являющегося наиболее важным фактором работы системы охлаждения, затрудняется сложностью формы и размеров элементов воздушного тракта, объединяющего в себе вход в подкапотное пространство автомобиля или трактора, радиатор, вентилятор, само подкапотное пространство со сложной конфигурацией двигателя и навесных агрегатов и выходные отверстия. В воздушный тракт также входят многочисленные устройства, относящиеся к системе охлаждения: жалюзи, уплотнения, кожух вентилятора, направляющие лопасти и т. д.



Фиг. 10. Типичная диаграмма распределения сопротивлений в воздушном тракте системы охлаждения автомобиля.

где $\Delta p_{вх}$ — сопротивление входной решетки (точки 1—2);
 $\Delta p_{ж}$ — сопротивление жалюзи (точки 2—3);
 Δp_L — сопротивление радиатора (точки 3—4);
 $\Delta p_к$ — сопротивление кожуха вентилятора (точки 4—5);
 Δp_p — сопротивление вследствие внезапного расширения воздушного тракта за кожухом вентилятора (точка 6);
 $\Delta p_{кп}$ — сопротивление подкапотного пространства (точки 6—7);
 $\Delta p_{вых}$ — сопротивление выхода, условно обозначенного на фиг. 10 в виде пунктирного прямоугольника (точки 7—8).

Точное определение величины сопротивления каждого отдельного элемента воздушного тракта является весьма затруднитель-

нающим в себе вход в подкапотное пространство автомобиля или трактора, радиатор, вентилятор, само подкапотное пространство со сложной конфигурацией двигателя и навесных агрегатов и выходные отверстия. В воздушный тракт также входят многочисленные устройства, относящиеся к системе охлаждения: жалюзи, уплотнения, кожух вентилятора, направляющие лопасти и т. д.

На фиг. 10 приведена примерная диаграмма распределения сопротивлений в воздушном тракте системы охлаждения автомобиля.

Полное сопротивление воздушного тракта можно выразить в следующем виде:

$$\Delta p_{полн} = \Delta p_{вх} + \Delta p_{жс} + \Delta p_L + \Delta p_к + \Delta p_p + \Delta p_{кп} + \Delta p_{вых} = \Delta p_L + \sum \Delta p_{возд. тр}, \quad (60)$$

ным, а взаимное влияние этих отдельных сопротивлений еще больше усложняет задачу. Поэтому в литературе почти отсутствуют точные данные по сопротивлению воздушных трактов тех или иных автомобилей и тракторов. Имеются лишь рекомендации для приближенного определения величины полного сопротивления воздушного тракта. Например, Коффман [39] рекомендует для большинства случаев эту величину принимать равной удвоенному аэродинамическому сопротивлению радиатора. Есть аналогичные рекомендации и других авторов.

6. Расчет радиатора

На практике в процессе проектирования системы охлаждения конструктор очень редко располагает полными данными по сопротивлению воздушного тракта и величине напора вентилятора с учетом имеющихся в воздушном тракте сопротивлений.

В то же время, как правило, проектированию радиатора предшествует исследование его поверхности охлаждения в аэродинамической трубе с целью определения основных характеристик: коэффициента теплопередачи k и аэродинамического сопротивления $\Delta\rho_L$. Величины k и $\Delta\rho_L$ зависят от скорости воздуха перед фронтом радиатора, а также от геометрии поверхности охлаждения (величины, формы и расположения трубок, толщины и расположения охлаждающих пластин, наличия и формы турбулизаторов и др.) и принятой технологии изготовления. Коэффициент теплопередачи также зависит от скорости воды в трубках.

В пределах скоростей воздуха, при которых работают авто-тракторные радиаторы, коэффициент теплопередачи в зависимости от скорости воздуха представляется аналитической зависимостью (22). Величина коэффициента теплопередачи, рассчитанного через среднелогарифмическую разность температур, не зависит от глубины радиатора [40] ввиду практически небольших пределов ее изменения, так как обычно $0,05 < l < 0,15$ м.

Аэродинамическое сопротивление также выражается в виде простой аналитической зависимости (34).

Таким образом, оценка теплотехнических качеств поверхности охлаждения с достаточной для практических расчетов полнотой может быть осуществлена с помощью параметров n , c' , m и c_1 , являющихся характеристическими коэффициентами в уравнениях (22) и (34).

Кроме того, как уже говорилось, одним из параметров, дающих общую оценку данной поверхности охлаждения и зависящих от ее типа и компоновки, является коэффициент компактности ϕ [$\text{м}^2/\text{м}^3$].

Следующими факторами, которые необходимо учитывать при расчете радиатора, являются параметры, оценивающие состояние окружающего воздуха: его температуру — t'_L , удельный вес —

γ_L и удельную теплоемкость — c_{pL} . Так как температура воды в радиаторе при работе двигателя обычно постоянна и лежит в пределах 90°C , то для оценки температуры окружающего воздуха может быть использована величина $\Delta t_{нач} = t_{\bar{w}} - t'_L$.

Конечной целью расчета радиатора с выбранными габаритами ($F_{\phi p}$ и l) и типом поверхности охлаждения является определение количества снимаемого тепла при заданных затратах мощности на привод вентилятора и при данном состоянии окружающего воздуха.

Выведем уравнение, которое связывает основные параметры, необходимые для расчета радиатора и характеризующие:

а) теплотехнические показатели и компоновку поверхности охлаждения — c' , c_1 , n , m , φ ;

б) состояние окружающего воздуха — $\Delta t_{нач}$, γ_L и c_{pL} ;

в) мощность воздушного потока, проходящего через радиатор, — N_v ;

г) габариты сердцевины радиатора — $F_{\phi p}$ и l ;

д) теплоотдачу радиатора — Q .

Величина поверхности охлаждения F_L может быть выражена как:

$$F_L = \varphi l F_{\phi p}. \quad (61)$$

Тогда уравнение (4) примет вид:

$$Q = k \varphi l F_{\phi p} \frac{t''_L - t'_L}{2,3 \lg \frac{t_{\bar{w}} - t'_L}{t_{\bar{w}} - t''_L}}. \quad (62)$$

Количество тепла, полученное воздухом при прохождении через радиатор, определяется по уравнению:

$$Q = 3600 c_{pL} \gamma v_L F_{\phi p} (t''_L - t'_L). \quad (63)$$

Так как количество тепла, отданное радиатором, равно количеству тепла, полученному воздухом, то можно приравнять уравнения (62) и (63). После ряда преобразований и заметив, что $\Delta t_{нач} = t_{\bar{w}} - t'_L$, будем иметь:

$$t''_L - t'_L = \Delta t_{нач} \left(1 - \frac{1}{10 \frac{k \varphi l}{2,3 \cdot 3600 c_{pL} \gamma v_L}} \right). \quad (64)$$

Подставив это выражение в уравнение (63), получим:

$$Q = 3600 c_{pL} \gamma v_L F_{\phi p} \Delta t_{нач} \left(1 - \frac{1}{10 \frac{2,3 \cdot 3600 c_{pL} \gamma v_L}{k \varphi l}} \right). \quad (65)$$

Мощность воздушного потока, проходящего через радиатор, определяется выражением (26). Подставляя в него выражение (34), получим:

$$N_v = \frac{c_1}{75} F_{\phi p} l v_L^{m+1}. \quad (66)$$

Решая уравнение (66) относительно v_L , получим:

$$v_L = \left(\frac{75 N_v}{c_1 F_{\phi p} l} \right)^{\frac{1}{m+1}}. \quad (67)$$

Подставив в уравнение (65) последовательно выражения (22) и (67), окончательно будем иметь:

$$Q = 3600 c_{pL} \gamma_L \Delta t_{\text{нац}} \left(\frac{75}{c_1} \right)^{\frac{1}{m+1}} N_v^{\frac{1}{m+1}} F_{\phi p}^{\frac{m}{m+1}} l^{-\frac{1}{m+1}} \times \\ \times \left(1 - \frac{1}{10^{\frac{c' \phi}{2,3 \cdot 3600 \cdot c_{pL} \gamma_L} \left(\frac{75}{c_1} \right)^{\frac{n-1}{m+1}} N_v^{\frac{n-1}{m+1}} F_{\phi p}^{\frac{1-n}{m+1}} l^{\frac{m-n+2}{m+1}}}} \right). \quad (68)$$

Уравнение (68) отражает взаимосвязь между параметрами, характеризующими радиатор, и может служить для расчета его теплоотдачи.

Однако решение уравнения (68) вследствие его громоздкости при практических расчетах вызывает существенные трудности. Для упрощения использования этого уравнения разработана номограмма, представленная на фиг. 11¹. Номограмма выполнена в нулевом жанре (все шкалы номограммы — прямые линии).

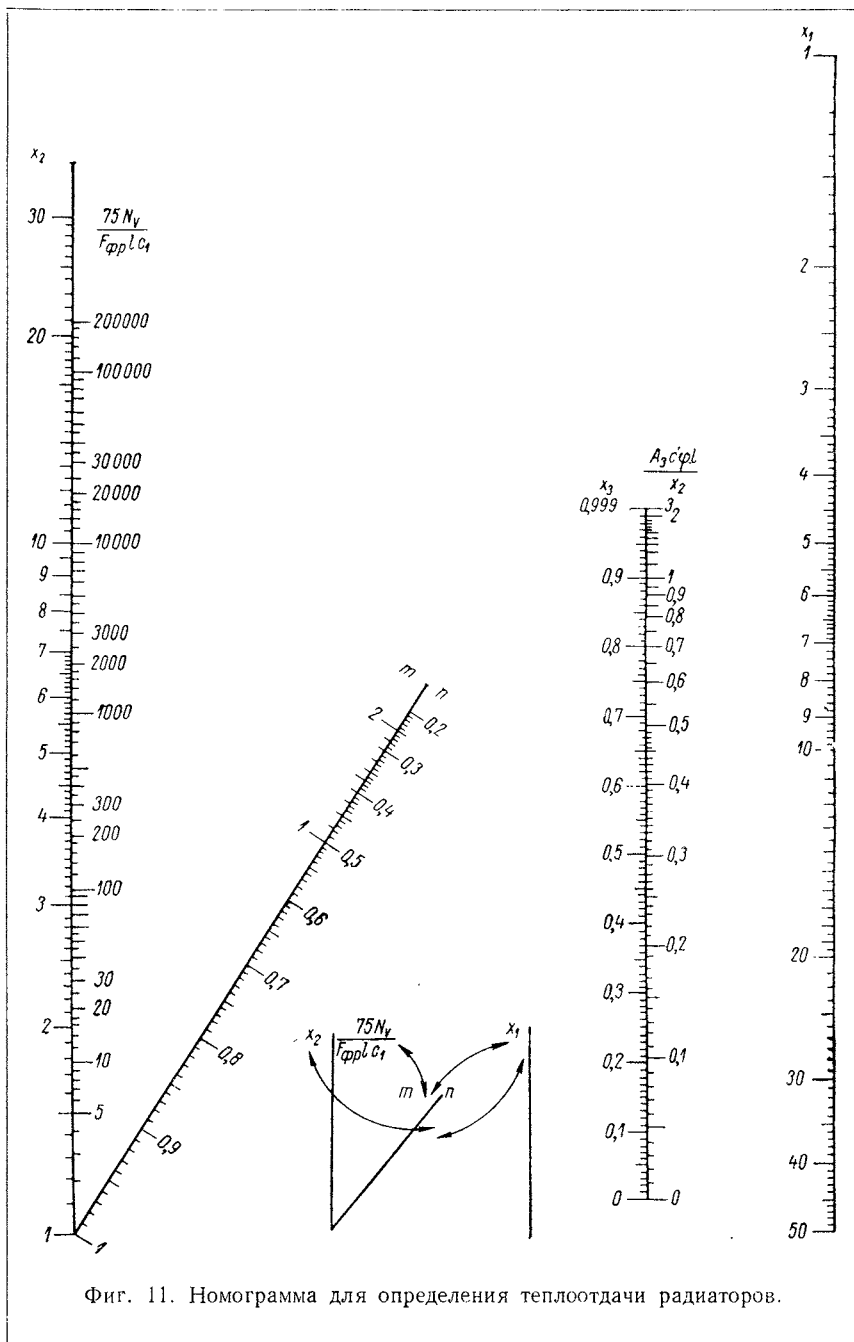
Последовательность расчетов по номограмме следующая.

Рассчитывается величина комплекса $\frac{75 N_v}{F_{\phi p} l c_1}$ и откладывается на соответствующей шкале. Через полученную таким образом отметку и соответствующую точку на шкале m проводится прямая линия до пересечения со шкалой x_1 .

Через полученную отметку на шкале x_1 и соответствующую точку шкалы n проводится прямая до пересечения со шкалой x_2 . Найденное на шкале значение x_2 необходимо для расчета величины комплекса $\frac{A_3 c' \phi l}{X_2}$, где $A_3 = \frac{1}{2,3 \cdot 3600 c_{pL} \gamma_L}$. При $c_{pL} = 0,242$ ккал/кг·°С и $\gamma_L = 1,16$ кг/м³ значение $A_3 = 0,432 \cdot 10^{-3}$.

Величина комплекса $\frac{A_3 c' \phi l}{x_2}$ откладывается на специальной шкале, после чего на соседней шкале против этой отметки находят значение x_3 .

¹ Номограмма разработана совместно с Б. А. Круком и Л. Т. Бесединой.



Фиг. 11. Номограмма для определения теплоотдачи радиаторов.

Теплоотдача радиатора вычисляется по формуле:

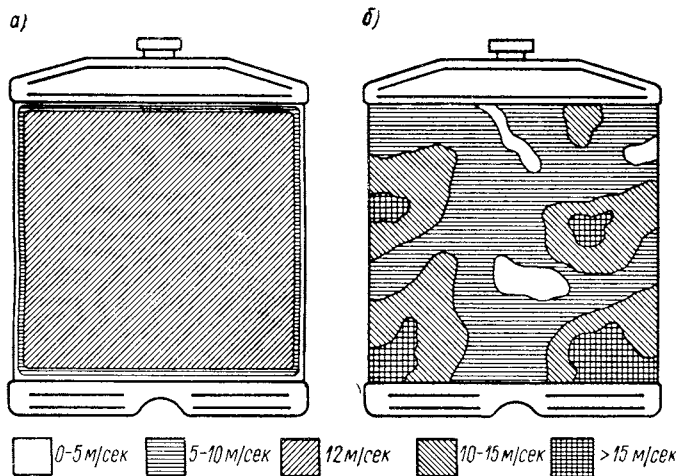
$$Q = A_1 F_{\phi p} x_1 x_3,$$

где $A_1 = 3600 c_{pL} \gamma_L \Delta t_{нач}$.

При $c_{pL} = 0,242 \text{ ккал/кг} \cdot ^\circ\text{C}$, $\gamma_L = 1,16 \text{ кг/м}^3$ и $\Delta t_{нач} = 60^\circ \text{C}$

$$A_1 = 6,06 \cdot 10^3.$$

Следует учитывать, что указанное значение теплоотдачи рассчитано на основе результатов испытания поверхности охлаждения в аэродинамической трубе при близких к идеальным условиям



Фиг. 12. Поле скоростей воздушного потока в радиаторе: а — при испытаниях в аэродинамической трубе; б — при установке на автомобиле.

Штриховкой показана скорость воздуха перед фронтом в м/сек.

омывания радиатора воздухом. В действительности в связи с наличием различных сопротивлений перед радиатором и за ним, а также вследствие особенностей работы вентилятора осевого типа распределение скорости воздуха перед фронтом радиатора, установленного на автомобиле или тракторе, будет весьма неравномерным. Для одного из типов автомобиля распределение скорости воздуха перед фронтом радиатора представлено на фиг. 12, б и, как это можно видеть, v_L колеблется в пределах от 0 до 15 м/сек и более. В некоторых точках фронта радиатора поток воздуха при определенных условиях работы системы может иметь даже противоположное направление. Снижение эффективности радиатора в этом случае неизбежно; поэтому принято вводить поправку, так называемый коэффициент запаса a_1 (он учитывает неравномерность омывания воздухом радиатора), величина которого определена по многолетнему опыту и обычно составляет $a_1 = 1,1$.

Поэтому расчет радиаторов для вновь создаваемых машин рекомендуется выполнять по формуле

$$Q_{васч} = a_1 Q.$$

Рассмотрим на примере порядок пользования номограммой. Опытный радиатор для автомобиля «Москвич-407» имеет габариты сердцевин: $F_{фр} = 0,113 \text{ м}^2$ и $l = 0,06 \text{ м}$. Значения постоянных величин, характеризующих применяемую поверхность охлаждения, составляют: $\varphi = 450 \text{ м}^2/\text{м}^3$, $c' = 33,5$; $c_1 = 11,5$, $n = 0,675$, $m = 1,95$. Температурные условия: $t'_L = 20^\circ \text{ С}$, $\Delta t_{нвч} = 60^\circ \text{ С}$ ($c_{pL} = 0,242 \text{ ккал/кг} \cdot ^\circ\text{С}$, $\gamma_L = 1,16 \text{ кг/м}^3$).

Требуется определить теплоотдачу радиатора для мощности воздушного потока, проходящего через радиатор, равной 0,4 л. с. Расчет выполняем в следующей последовательности.

Величина комплекса

$$\frac{75N_v}{F_{фр} c_1} = \frac{75 \cdot 0,4}{0,113 \cdot 0,06 \cdot 11,5} = 384.$$

Проведя прямую через эту отметку и отметку $m = 1,95$ шкалы m получим $x_1 = 7,5$. Проведя прямую через отметки $x_1 = 7,5$ и $n = 0,675$ будем иметь $x_2 = 1,92$.

Величина комплекса

$$\frac{A_3 c' \varphi l}{x_2} = \frac{0,432 \cdot 10^{-3} \cdot 33,5 \cdot 450 \cdot 0,06}{1,92} = 0,203.$$

Соответствующее значение $x_3 = 0,37$.

Теплоотдача радиатора

$$Q = A_1 F_{фр} x_1 x_3 = 6,06 \cdot 10^3 \cdot 0,113 \cdot 7,5 \cdot 0,37 = 19000 \text{ ккал/ч}.$$

КОНСТРУКЦИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ РАДИАТОРОВ

1. Алюминий как материал для изготовления радиаторов

К материалам, используемым для изготовления современных автотракторных радиаторов, предъявляются требования обеспечения достаточной прочности и пластичности, теплопроводности (в основном для косвенной поверхности охлаждения), стойкости против коррозии и технологичности. Весьма важными, учитывая массовый характер производства, являются экономические требования, особенно в отношении расхода дефицитных металлов. До настоящего времени наиболее распространенными в радиаторном производстве металлами являются медь и сплавы на ее основе (латуни).

Алюминий и его сплавы несколько уступают меди и ее сплавам в некоторых из перечисленных требований, но являются материалами не дефицитными и, в свою очередь, обладающими рядом ценных преимуществ.

С учетом необходимости более полного удовлетворения предъявляемым требованиям при изготовлении сердцевин алюминиевых радиаторов могут быть использованы следующие материалы:

- а) алюминий высокой степени чистоты (типа АОО или АД-1);
- б) сплав алюминия с марганцем (типа АМц);
- в) сплав алюминия с магнием (типа АМг).

Для изготовления деталей арматуры радиаторов могут применяться литейные алюминиевые сплавы: АЛ-2, АЛ-4, АЛ-6 и АЛ-9, а также дуралюмин.

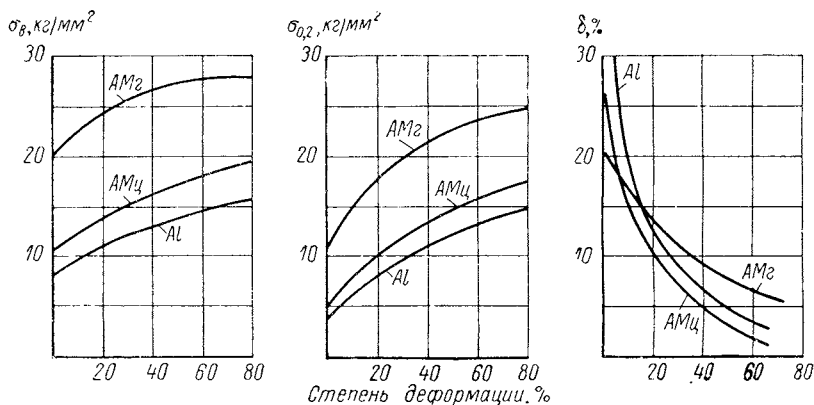
Алюминий (АОО и АД-1) обладает сравнительно низкой прочностью, но высокими показателями пластичности, коррозионной стойкости и теплопроводности. Основным методом упрочения алюминия является нагартовка (наклеп).

Сплав АМц имеет более высокую прочность, чем алюминий; он обладает хорошей свариваемостью, большой пластичностью

и высоким сопротивлением коррозии, почти не уступающим коррозионной стойкости чистого алюминия.

Упрочнение сплава АМц производится нагартовкой, при этом сохраняются достаточно высокие характеристики пластичности. Полунагартованный и нагартованный сплав.

Сплав АМг является более прочным и более коррозионно устойчивым, чем сплав АМц, но уступает ему по пластичности и технологическим свойствам.



Фиг. 13. Влияние нагартовки (степени деформации) на механические свойства алюминиевых сплавов.

σ_6 — предел прочности; $\sigma_{0,2}$ — предел текучести; δ — относительное удлинение.

В табл. 2 приведены данные по химическому составу перечисленных алюминиевых сплавов, применяемых в СССР, и аналогичных сплавов, применяемых промышленностью других стран мира. Эти сплавы близки между собой по содержанию основных легирующих элементов и по механическим свойствам. Содержание небольшого количества титана в сплавах улучшает их свариваемость.

Типичные физические и механические свойства алюминиевых сплавов¹ даны в табл. 3, причем там же для сравнения приведены соответствующие свойства меди и ее сплавов, т. е. материалов, наиболее широко применяемых в настоящее время для изготовления радиаторов.

Механические свойства алюминиевых сплавов зависят от степени нагартовки. На фиг. 13 показано изменение механических свойств этих сплавов при пластической деформации. Как видно из графиков, сплав АМг более прочен и при нагартовке более

¹ Здесь и дальше для сокращения под термином «алюминиевые сплавы» будут условно пониматься алюминий и его сплавы.

Таблица 2

Состав некоторых алюминиевых сплавов, пригодных для изготовления сердцевин радиаторов

Тип сплава	Марка сплава	Страна	Содержание основных элементов (остальное — алюминий), %									
			Mg	Mn	Cu	Zn	Cr	Si	Fe	Другие		
Алюминий	A00	СССР	—	—	0,01	—	—	—	—	0,16	0,16	—
	AД	СССР	—	—	0,10	—	—	—	—	0,55	0,50	1,20
	AД-1	СССР	—	—	0,05	—	—	—	—	0,35	0,30	0,70
	—	Германия (1942 г.)	Следы	Следы	0,01	—	—	—	—	0,245	0,18	—
Алюминиево-марганцевые	AMc	СССР	≤0,05	1,0—1,6	≤0,2	≤0,1	—	—	—	≤0,6	≤0,7	≤0,1Ti
	3003	США	—	1,0—1,5	≤0,2	≤0,1	—	—	—	≤0,6	≤0,7	—
	NS3	Англия	—	1,0—1,5	≤0,15	≤0,1	—	—	—	≤0,6	≤0,7	≤0,2Ti
	AlMn	ГДР	≤0,3	1,0—1,5	≤0,1	≤0,1	≤0,3	—	—	≤0,5	—	≤0,5Fe+Ti
	AlMn	ВНР	≤0,5	1,0—2,0	≤0,1	≤0,1	—	—	—	≤0,5	≤0,7	—
Алюминиево-магниевые	AMг	СССР	2,0—2,8	0,15—0,4	≤0,05	—	—	—	—	≤0,4	≤0,6Fe+Si	≤0,1Ti
	5052	США	2,2—2,8	≤0,1	≤0,1	≤0,2	0,15—0,4	—	—	—	≤0,45Fe+Si	≤0,15Ni
	NS4, NE4	Англия	1,8—2,7	≤0,5	≤0,1	≤0,1	0,15—0,35	≤0,5	—	≤0,6	≤0,7	≤0,2Ti
	AlMg3	ГДР	2,0—4,0	≤0,4	≤0,05	≤0,3	≤0,3	—	—	≤0,5	—	0,5Fe+Ti
	AlMg3	ВНР	2,8—4,0	0,05—0,2	≤0,1	≤0,4	—	—	—	≤0,5	≤0,8Fe+Ti	—
	AlMg3,5	Италия	3,2—3,8	≤0,6	≤0,05	≤0,1	≤0,5	—	—	≤0,3	≤0,4	—
	Ag3	Франция	2,5—3,7	0,2—0,7	≤0,1	≤0,1	—	—	—	≤0,3	≤0,4	—

Типичные физико-механические свойства материалов, пригодных для изготовления радиаторов

Свойство	Размерность	Сплавы на алюминиевой основе			Сплавы на медной основе				
		АД1	АМц	АМг	МЗ	ЛТ96	ЛТ90	Л68	Л62
Удельный вес	$г/см^3$	2,71	2,73	2,67	8,93	8,85	8,8	8,6	8,5
Коэффициент линейного расширения при температуре 20—100°C		24·10 ⁻⁶	23,2·10 ⁻⁶	23,4·10 ⁻⁶	16,4·10 ⁻⁶	17·10 ⁻⁶	17·10 ⁻⁶	19·10 ⁻⁶	20·10 ⁻⁶
Теплопроводность	ккал/м·ч°C	194	162	108	332	211	108	93,5	72
Температура плавления	°C	—	650	—	1683	1070	1045	938	905
Предел прочности	кг/мм ²	8—15*	13—16*	20—25*	24—50*	24**	26**	33**	36**
Предел текучести	»	3—10*	5—13*	10—20*	7—38*	6,3**	13**	10**	11**
Относительное удлинение	%	35—6*	20—16*	16—6*	50—6*	52**	44**	56**	49**
Относительное сужение	»	80—60*	70—55*	35—64*	75—35*	82**	80**	70**	66**
Модуль нормальной упругости	кг/мм ²	7100	7200	7000	10 800— —13 000*	11 400	9150	11 000	10 000
Модуль сдвига	»	—	2700	2700	—	—	—	—	—
Твердость по Бринеллю	»	25—32*	30—40*	45—60*	35—120*	40**	53**	52**	56**
Удельная прочность	—	2,95—5,55†	4,76—5,87*	7,5—9,35*	2,69—5,6*	2,72**	2,96**	3,84**	4,24**

* — Первая цифра для отожженного материала, вторая — полунагартованного.

* — Отожженный.

пластичен, чем сплав АМц; чистый алюминий обладает самыми низкими механическими свойствами.

В авиационной промышленности при проектировании деталей из алюминиевых сплавов в качестве параметра, обуславливающего пригодность материала для данной детали, пользуются понятием удельной прочности металла, т. е. отношением предела прочности σ_b к удельному весу:

$$П = \frac{\sigma_b}{\gamma}. \quad (69)$$

Данные по удельной прочности металлов, рассчитанные по уравнению (69), приведены в табл. 3. Из таблицы следует, что удельная прочность алюминиевых сплавов, особенно АМц и АМг, не уступает меди и латуни. Кроме того, алюминиевые сплавы хорошо выдерживают вибрационную нагрузку, которая является одним из наиболее опасных видов нагрузки, встречающейся при работе радиаторов автотракторного типа.

Для изготовления деталей арматуры алюминиевых радиаторов, таких, как патрубки, горловины, проушины и др., могут применяться литейные алюминиевые сплавы различного состава. Наибольшее распространение в настоящее время получили силумины, т. е. алюминиевые сплавы, в которых основным легирующим элементом является кремний. Эти сплавы имеют высокие литейные качества, но обладают малой пластичностью и пониженной коррозионной стойкостью. Поэтому для деталей радиаторов, изготовленных из силумина, может потребоваться специальная антикоррозионная обработка. Следует отметить, что в случае, когда необходимо получить высокую коррозионную стойкость литых деталей, можно применять алюминиево-магниево-медные сплавы с малым содержанием меди.

2. Конструкция алюминиевых радиаторов

Радиатор наряду с другими элементами системы охлаждения двигателя должен обеспечивать работу двигателя автомобиля или трактора без перегрева при эксплуатации в различных климатических районах. Поскольку выполнение этого требования является затруднительным, заводы, производящие автомобили и тракторы, нередко выпускают машины с двумя модификациями радиаторов: нормальной, предназначенной для эксплуатации в зонах с умеренным климатом, и форсированной — для эксплуатации в районах с жарким климатом [45].

К конструкции алюминиевых радиаторов автотракторных двигателей, предназначенных для массового производства, предъявляются, кроме того, следующие требования.

1. Конструкция радиатора из алюминиевых сплавов должна обеспечивать возможность изготовления его в условиях массового специализированного производства.

2. Должна быть обеспечена максимальная унификация конструкций радиаторов для различных машин с целью удешевления производства, упрощения эксплуатации и снабжения запасными частями.

3. Вес, габариты и себестоимость алюминиевых радиаторов не должны быть выше, чем вес, габариты и себестоимость соответствующих медных радиаторов.

4. Срок службы алюминиевых радиаторов не должен быть ниже, чем срок службы соответствующих медных радиаторов. При этом не должно происходить коррозионного разрушения радиаторов при эксплуатации в районах с различной агрессивностью вод, используемых для заправки систем охлаждения двигателей.

5. Конструкция радиатора должна обеспечивать простоту ремонта непосредственно в эксплуатационных условиях.

В современных радиаторах различают следующие типы поверхностей охлаждения (фиг. 14): трубчато-пластинчатая, трубчато-ленточная, трубчато-ребристая, волнистые пластины; пластинчатая и сотовая.

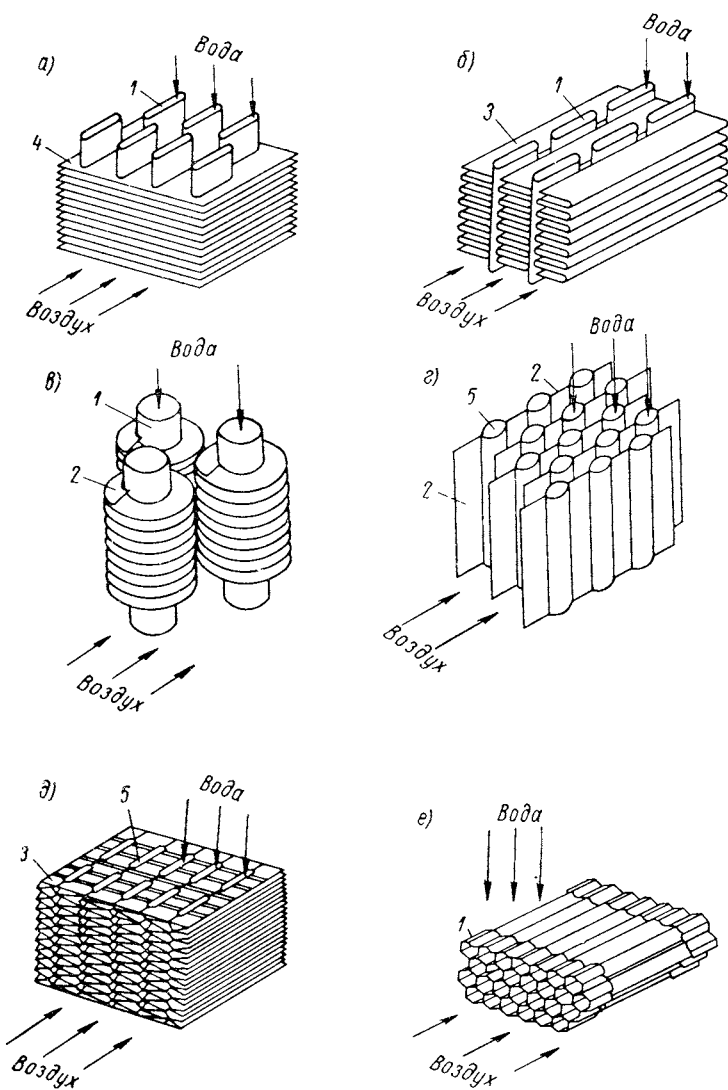
Трубчато-пластинчатая поверхность охлаждения состоит из водяных трубок, расположенных в шахматном или коридорном порядке, и оребрения — общих для всех трубок пластин. Трубки могут иметь плоскоовальное, овальное и круглое сечение. Соединение прямой и косвенной поверхности охлаждения обычно производится пайкой. Для поверхностей этого типа являются характерными высокие прочность и жесткость, достаточно высокая тепловая эффективность и сравнительно сложное производство.

При изготовлении сердцевин радиатора из меди или латуни используются водяные трубки с толщиной стенки 0,12—0,25 мм (последняя цифра — для тяжелых машин) и пластины толщиной 0,08—0,15 мм.

Автомобильные радиаторы трубчато-пластинчатого типа с шахматным и специальным размещением водяных трубок имеют расстояние между пластинами от 1,8 до 4,5 мм. В случае применения минимальных расстояний между пластинами удается получить наиболее компактные сердцевинны ($\varphi > 1000 \text{ м}^2/\text{м}^3$).

При использовании на тракторах, где имеется опасность засорения сердцевин соломой, половой и другим мусором, трубки располагают в коридорном порядке и расстояние между пластинами редко делают менее 4—5 мм, что обеспечивает меньшую засоряемость радиаторов и допускает их легкую очистку водой или воздухом, подаваемыми под давлением.

Трубчато-ленточная поверхность имеет расположенные в коридорном порядке трубки и косвенную поверхность в виде гофрированной ленты, помещенной между соседними рядами трубок. Лента и трубки соединяются между собой пайкой. Для повышения турбулизации воздушного потока, проходящего



Фиг. 14. Типы поверхностей охлаждения современных радиаторов:
 а — трубчато-пластинчатая; б — трубчато-ленточная; в — трубчато-ребристая; г — волнистые пластины (трубки в полосе); д — пластинчатая; е — сотовая.

1 — трубка; 2 — ребро; 3 — лента; 4 — охлаждающая пластина;
 5 — водяной канал.

через радиатор, гофрированная лента может иметь специальные выштамповки или надрезы. Поверхности этого типа имеют высокую тепловую эффективность, технологичны, однако их прочность ниже, чем у поверхностей трубчато-пластинчатого типа.

Медные паяные радиаторы трубчато-ленточного типа в настоящее время получают все большее распространение в автомобильной промышленности, особенно на легковых, а также грузовых автомобилях малой и средней грузоподъемности. Такие радиаторы обычно имеют высокую компактность ($\varphi > 1000 \text{ м}^2/\text{м}^3$).

Трубчато-ребристая поверхность состоит из шахматно или коридорно расположенных трубок, имеющих индивидуальное оребрение. Ребра либо получаются на поверхности трубок механическим путем (например, накаткой), либо изготавливаются отдельно и соединяются с трубками пайкой. Иногда ребра имеют только механическое соединение с трубкой. Ребра в плане могут иметь круглую, овальную или прямоугольную форму, а также изготавливаться в виде спиральной ленты, навиваемой на трубки. Поверхностям этого типа свойственна высокая прочность. Радиаторы трубчато-ребристого типа имеют меньшее распространение, чем радиаторы трубчато-пластинчатого и трубчато-ленточного типов, что объясняется их более низкими теплотехническими показателями. Основной сферой их применения являются средние и тяжелые тракторы, а также различное строительное оборудование.

Волнистые пластины (трубки в полосе) представляют собой параллельно расположенные пластины, в которых выполнены круглые, овальные или плоско-овальные водяные каналы. Промежутки между каналами и крайние плавники пластин являются косвенной поверхностью охлаждения. В связи с тем, что косвенная поверхность здесь выполнена из того же куска металла, что и водяные каналы, ее эффективность оказывается весьма высокой. Трубки в полосе могут изготавливаться различными способами и имеют высокую тепловую эффективность. В настоящее время этот тип поверхности охлаждения приобретает заметное распространение в теплообменных устройствах различного назначения, в основном, при теплообмене между средами, имеющими различные теплофизические свойства: вода — воздух, водяной пар — воздух и др.

Пластинчатая поверхность выполнена из профильных пластин, соединенных между собой пайкой. Внутри пластин образованы водяные каналы. Между пластинами проложена и припаяна к ним гофрированная лента, образующая косвенную поверхность охлаждения. Иногда гофрированными выполняются сами профильные пластины. В этом случае в радиаторе почти отсутствует косвенная поверхность охлаждения, а водяные каналы

имеют извилистую форму. Пластинчатая поверхность обладает высокой тепловой эффективностью и технологична, однако для ее изготовления требуется большой расход припоев. Поверхности такого типа, кроме того, имеют низкую механическую прочность и поэтому применяются обычно лишь в радиаторах легковых автомобилей.

Сотовая поверхность состоит из трубок, по которым проходит воздух (воздушные трубки). Концы трубок развальцованы на шестигранник или квадрат и спаяны между собой. Между трубками образуются извилистые каналы, служащие для прохода воды. Косвенная поверхность охлаждения почти отсутствует. Воздушные трубки могут иметь различную форму сечения: круглую, шестигранную, квадратную и специальную. Сотовая поверхность имеет низкую механическую прочность (применялась при давлении в системе охлаждения не более $0,5 \text{ кг/см}^2$) и в настоящее время почти не используется в автотракторных радиаторах.

При создании алюминиевого радиатора правильный выбор типа поверхности охлаждения имеет наиболее важное значение для решения всей конструкции радиатора в целом. И это не является случайным, так как тепловая эффективность и вес радиатора, трудоемкость изготовления и стоимость наиболее дорогих — тонкостенных материалов в основном зависят от конструкции принятой поверхности охлаждения.

В настоящее время совершенно отчетливо вырисовываются два пути решения проблемы внедрения в производство алюминиевых радиаторов.

Первый путь — это сохранение без существенных изменений конструкции медного паяного радиатора и решение проблемы путем отработки процесса пайки алюминиевых деталей сердцевины и арматуры радиатора. В этом направлении, например, начиная с 1946 г. проводятся работы американскими фирмами «Алкоа» и «Харрисон».

Второй путь — создание оригинальных конструкций алюминиевых радиаторов, для изготовления которых могут быть использованы не только пайка, но и другие технологические процессы, более полно отвечающие свойствам алюминия как конструкционного материала. К таким конструкциям относятся алюминиевые радиаторы трубчато-ребристого типа германских фирм «Беер» и «Опель» (1942 г.), радиаторы секционного типа и др.

При разработке оригинальных конструкций алюминиевых радиаторов помимо новой технологической основы в ряде случаев могут быть по-новому решены вопросы, связанные с унификацией радиаторов, специализацией их производства, а также с организацией ремонта и эксплуатации.

Ниже рассматриваются конструкции алюминиевых радиаторов различных типов, созданные за последние десятилетия.

Некоторые из рассматриваемых конструкций существовали в виде опытных образцов, другие — выпускались серийно.

Радиаторы трубчато-пластинчатого типа. Некоторые европейские фирмы еще со времени второй мировой войны имеют опыт промышленного производства алюминиевых водо-воздушных радиаторов для самолетов и автомобилей [34].

Так, фирма «Фимаг» изготавливала алюминиевые радиаторы трубчато-пластинчатого типа. Радиаторы имели бесшовные тянутые плоскоовальные трубки сечением $19,5 \times 2,0$ мм, расположенные в коридорном порядке в шесть рядов по глубине. Толщина пластин, применявшихся в радиаторе, — 0,15 мм, расстояние между ними — 2,1 мм. Отверстия для трубок в пластинах и трубных досках были выштампованы так, что отбортовка обжимала трубки. Материал, использовавшийся для изготовления элементов радиатора, — технический алюминий. Соединение трубок с трубными досками производилось пайкой твердыми припоями, а соединение сердцевины с бачками и арматурой — автогенной сваркой.

Для обеспечения контакта между трубками и пластинами в качестве связующего вещества, а также для коррозионной защиты всех внешних поверхностей, сердцевина пропитывалась специальным высококачественным масляным лаком, имевшим наполнитель в виде мелкого алюминиевого порошка. Предполагалось, что частицы алюминиевого порошка в лаке находятся в контакте друг с другом и тем самым существенно снижается термическое сопротивление в местах соприкосновения пластин и трубок.

Перед покрытием лаком поверхности радиатора подвергались защитной химической обработке, придававшей им слегка шероховатый вид, а также служащей для удаления остатков сварочного флюса.

Фирма выпускала также другие модификации описанного радиатора. Все эти радиаторы имели малый вес и сравнительно высокую тепловую эффективность, однако срок их службы оказывался недостаточным в связи с резким изменением в процессе эксплуатации свойств лака. Кроме того, их тепловая эффективность при производстве в очень большой степени зависела от качества приготовления смеси лака с алюминиевым порошком.

Эти недостатки были известны, и поэтому радиаторы фирмы «Фимаг» рассматривались как промежуточная конструкция, которую следует заменить более эффективными алюминиевыми радиаторами трубчато-ребристого типа.

Опыт эксплуатации огромного количества алюминиевых радиаторов показал, что никакой коррозии металлов не происходило. Большинство радиаторов работало на 50% смеси воды с этиленгликолем.

При создании в США в 1946—1956 гг. автомобильных алюминиевых радиаторов фирмы «Харрисон», «Алкоа» и др. в первую очередь также ориентировались на конструктивную схему радиатора трубчато-пластинчатого типа, как наиболее проверенную практи-

кой и в достаточной степени отвечающую требованиям производства и эксплуатации.

Основные усилия были обращены на разработку методов пайки алюминия [30, 31, 32, 42], так как алюминий плохо поддавался пайке — традиционному методу соединения при изготовлении и ремонте радиатора.

На первом этапе работ, направленных на использование алюминия в радиаторном производстве, была создана конструкция комбинированного радиатора, в котором охлаждающие пластины изготавливались из алюминия, а трубки и другие основные детали — из латуни. Такая конструкция должна была позволить:

1) значительно снизить вес радиатора за счет замены медных пластин на алюминиевые;

2) не опасаться коррозии стенок трубок, омываемых водой, так как эти трубки изготавливались из проверенного материала — латуни;

3) использовать пайку мягкими припоями, что, в свою очередь, позволяло сохранить почти без изменения существующее для производства медных радиаторов оборудование;

4) производить ремонт повреждений в радиаторе теми же техническими средствами, что и для медных радиаторов.

Алюминиевые пластины непосредственно не соединяются пайкой с латунными трубками; поэтому для изготовления пластин использовалась алюминиевая лента, имеющая покрытие другим металлом. Были испытаны покрытия медью, цинком, никелем и другими металлами.

Медь наносилась на алюминиевые пластины с обеих сторон гальваническим способом или плакировкой, причем толщина медного покрытия с каждой стороны составляла по 10% от общей толщины пластины. Сердцевины с омедненными алюминиевыми пластинами легко подвергались сборке пайкой обычными способами, но при этом требовалась более точная выдержка по времени и более тщательная регулировка температуры печи. Однако при испытаниях комбинированных радиаторов на коррозионную стойкость оказалось, что алюминиевое основание пластины, находящееся между двумя медными покрытиями, подвергается разрушению вследствие электрохимической коррозии. Это явилось причиной отказа от плакировки алюминия медью.

Покрытие алюминиевых пластин цинком оказалось более приемлемым, хотя здесь возникали трудности, связанные с пайкой охлаждающего пакета. Цинковое покрытие устранило проблему гальванической коррозии [42], вследствие того, что цинк расположен очень близко к алюминию в ряду электрохимической активности (см. гл. 1У).

Покрытие никелем, хотя и показало положительные результаты, не получило применения в связи с тем, что никель повсюду является дефицитным металлом.

После многочисленных испытаний для пайки комбинированных сердцевин радиаторов были рекомендованы припой на цинковой основе.

С целью получения широкого производственного и эксплуатационного опыта американская фирма «МК Корд Корпорейшн» в 1955 г. смонтировала вспомогательную линию и выпустила значительную партию комбинированных радиаторов трубчато-пластинчатого типа. Однако несмотря на положительный опыт, полученный при производстве и испытаниях указанной партии, дальнейшие работы в этом направлении были прекращены; причиной этого, по-видимому, явилась недостаточная экономическая целесообразность внедрения конструкции, которая к тому же лишь частично решала проблему замены меди. Существенное значение имели, кроме того, трудности, связанные с пайкой при ремонте радиатора, так как общепринятые методы ремонта медных радиаторов не могут быть использованы в этом случае. Дело в том, что оловянно-свинцовый припой, применяемый при пайке медных радиаторов, не смачивает поверхности комбинированных радиаторов, покрытые цинково-оловянным припоем. Более того, при длительном нагреве алюминиевых пластин, покрытых медью, возможно расплавление алюминиевой сердцевины, в то же время малейшие повреждения плакировки вызывают интенсивную электрохимическую коррозию. Эти обстоятельства привели к тому, что для устранения течи в комбинированной конструкции радиатора необходима высокая квалификация ремонтных рабочих, что является отрицательным фактором.

Создание в США, ФРГ и других странах цельноалюминиевой конструкции паяного радиатора также шло по пути выбора материалов, обеспечивающих возможность сборки радиатора в производственных условиях. При этом с точки зрения конструктивного выполнения алюминиевый радиатор трубчато-пластинчатого типа не имеет существенных отличий от такого же медного радиатора. Основное изменение сводилось к увеличению в среднем в два раза толщины используемой ленты по сравнению с медной лентой. Это оказалось необходимым, чтобы компенсировать снижение коэффициента теплопроводности, что особенно заметно для охлаждающих пластин сердцевины, уменьшить вероятность сквозных коррозионных поражений материала, сохранить прочность радиатора при вибрационных нагрузках и упростить регулирование процесса пайки, так как при высоких температурах пайки алюминий не имеет такую жесткость и твердость, как медь.

Естественно, что с точки зрения радиаторного производства идеальным решением явилось бы использование при сборке алюминиевого радиатора мягкого припоя; однако эта задача до сих пор не решена.

Поэтому пайка цельноалюминиевых радиаторов производится твердыми припоями, получившими развитие за последние десяти-

летия особенно в авиационной промышленности, где они успешно используются для пайки алюминиевых теплообменников.

При создании цельноалюминиевого радиатора трубки изготавливались пайкой из ленты «Алкоа № 100» толщиной 0,25 мм. Эта лента имеет основание из сплава 3003, которое плакируется с обеих сторон. Толщина каждого из слоев плакировки 10% от общей толщины ленты.

Внутренняя плакировка ленты производится алюминиевым сплавом, содержащим 2,5% цинка, и служит для повышения коррозионной стойкости трубок радиатора. Наружная плакировка материала трубок представляет собой алюминиевый сплав, содержащий 7% кремния. Этот сплав имеет температуру плавления приблизительно на 39° С ниже, чем сплав основания ленты, и является наплавным металлом при процессе пайки.

Из листового металла «Алкоа № 100» изготавливаются также паяные верхний и нижний бачки радиатора. Для охлаждающих пластин сердцевины используется лента толщиной 0,13 мм из сплава марки 3003 без плакировки.

Следует отметить, что для изготовления трубок и бачков был использован также двухслойный материал «Алкоа № 11», который отличается от материала «Алкоа № 100» отсутствием на внутренней стороне алюминевоцинкового покрытия.

В 1949—1955 гг. фирмой «Алкоа» было изготовлено свыше тысячи цельноалюминиевых паяных радиаторов трубчато-пластинчатого типа, которые прошли эксплуатационные испытания в течение нескольких лет во всех районах США. Во время этих испытаний для заправки радиаторов использовались воды, имеющие различную степень агрессивности. Эксплуатационные испытания этой большой партии радиаторов дали удовлетворительные результаты.

В ходе работ по алюминиевым радиаторам, имеющим паяную конструкцию, было установлено, что наружные паяные поверхности имеют удовлетворительную стойкость против коррозии, контакт между трубками и пластинами, образованный твердым припоем, является прочным и радиатор в процессе эксплуатации не утрачивает своей тепловой эффективности. Было установлено также, что прочность соединения твердым припоем в радиаторах почти в 10 раз выше, чем прочность, обеспечиваемая мягким припоем.

Несмотря на удовлетворительные в основном результаты выполненных работ по цельноалюминиевым радиаторам американские фирмы не спешат с внедрением их в массовое производство. Это объясняется следующими причинами [42]:

- 1) медь не является в США дефицитным металлом и ее стоимость ненамного выше стоимости алюминия;

- 2) для организации производства радиаторов, основанного на процессе пайки твердым припоем, необходимы значительные

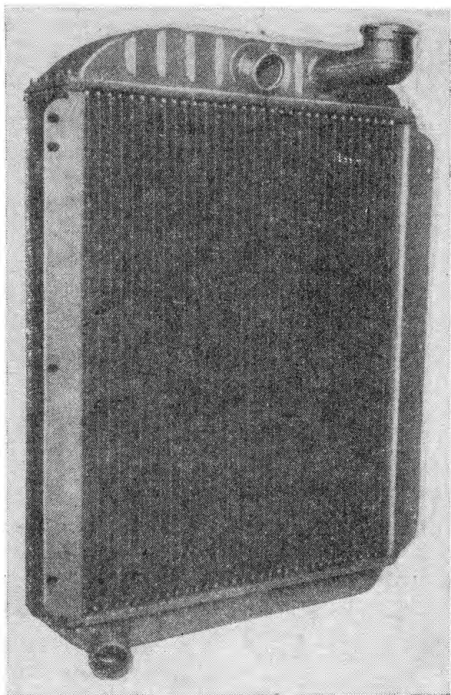
капитальные затраты на новое оборудование, значительно отличающееся от используемого при пайке медных радиаторов; новое оборудование должно обеспечивать весьма точное регулирование процесса пайки по времени и температуре;

3) большие и невозвратимые потери дорогих флюсов значительно повышают и без того высокую себестоимость радиатора;

4) трудно устранимы в эксплуатационных условиях течи и другие повреждения, связанные с необходимостью использования пайки.

Отмеченные недостатки рассмотренных конструкций трубчато-пластинчатых радиаторов и в первую очередь трудность соединения элементов такого алюминиевого радиатора посредством пайки, склейки или сварки привели к созданию в нашей стране оригинальной конструкции алюминиевого радиатора, предложенной М. С. Курневичем [14, 21].

На основе предложения М. С. Курневича были созданы опытные образцы алюминиевых радиаторов для автомобилей ЗИЛ-164, ЗИЛ-150 и «Волга М-21», радиаторы НК-120 для автомобиля ЗИЛ-164, а также алюминиевые радиаторы для отопителей кабин грузовых автомобилей ГАЗ-51, ГАЗ-63, УРАЗ-355 и МАЗ-200. Пере-



Фиг. 15. Общий вид алюминиевого радиатора НК-120 для автомобиля ЗИЛ-164.

численные радиаторы и теплообменники имеют идентичное конструктивное выполнение основных элементов.

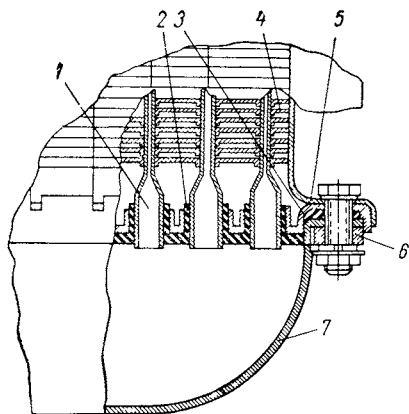
В 1960—1961 гг. Ждановским машиностроительным заводом была выпущена опытная партия алюминиевых радиаторов НК-120 в количестве свыше 200 штук, а Шадринским автоагрегатным заводом — промышленная партия алюминиевых радиаторов для отопителей кабин. Выпущенные алюминиевые радиаторы установлены на автомобили и проходят эксплуатационные испытания в разных районах страны.

Рассмотрим конструкцию алюминиевого радиатора НК-120 (фиг. 15). Компоновочная схема такого радиатора в принципе не

отличается от схем существующих медных радиаторов, кроме способа сборки сердцевин и всего радиатора.

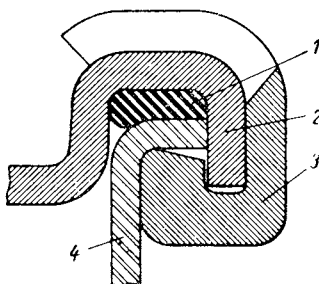
Сердцевина радиатора состоит из 196 овальных трубок, расположенных в специальном порядке шестью рядами по глубине, и 236 охлаждающих пластин из алюминиевой ленты АД-1 толщиной 0,15 мм; шаг охлаждающих пластин 2,5 мм.

Трубки радиатора имеют сечение $11,4 \times 3,2$ мм и толщину стенки 0,4 мм. Они изготавливаются из алюминия АОО, причем в качестве заготовок используются бесшовные круглые трубки диаметром 8,3 мм. Контакт между пластинами и трубками достигается калибровкой трубок, вставленных в охлаждающие пластины и полу-



Фиг. 16. Соединение охлаждающих пластин и трубных досок с трубками радиатора НК-120:

1 — трубка; 2 — блок резиновых элементов; 3 — прокладка; 4 — охлаждающая пластина; 5 — боковина; 6 — накладка; 7 — бачок.



Фиг. 17. Крепление бачка к трубной доске радиатора НК-120:

1 — резиновая прокладка; 2 — трубная доска; 3 — зажимная планка; 4 — бачок.

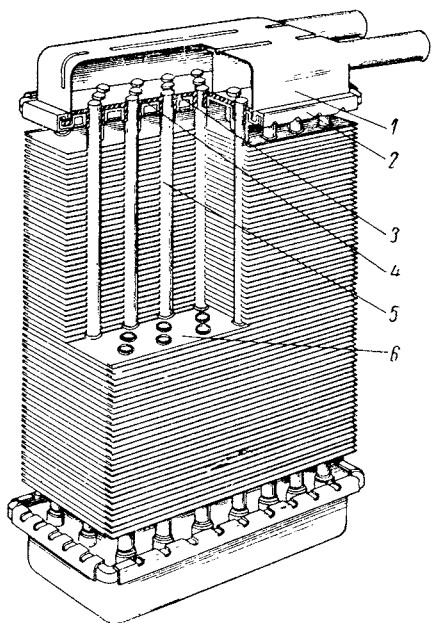
чения за счет этого плотной посадки. Концы трубок имеют круглое сечение для соединения с верхней и нижней трубными досками. На фиг. 16 показано соединение охлаждающих пластин и трубных досок с трубками радиатора.

Уплотнение концов трубок производится их запрессовкой в отверстия блока резиновых элементов, выступы которого входят в специальные углубленные отверстия трубной доски, имеющие отбортовки. Высота отбортовки равна диаметру трубок; при этом соотношении размеров достигается наилучшее уплотнение.

Верхний и нижний бачки радиатора крепятся к трубным доскам при помощи болтов, размещенных по короткой стороне бачков, и специальных зажимных планок с прорезями (фиг. 17), расположенных по длинной стороне бачков.

Как видно из фиг. 17, трубная доска имеет по наружному контуру штампованную канавку, в которую укладывается уплотни-

тельная резиновая прокладка. Отбортовка вертикальных стенок бачков радиатора входит в канавку трубной доски и прижимается к прокладке зажимной планкой. Одна сторона зажимной планки представляет собой ряд лепестков, которые при установке бачка путем обжатия загибаются за борт трубной доски.



Фиг. 18. Алюминиевый радиатор отопителя кабины:

1 — бачок радиатора; 2 — зажимная планка;
3 — трубная доска; 4 — блок резиновых элементов; 5 — трубка; 6 — пластина.

Надежность контакта между трубками и охлаждающими пластины является недостаточной. Так как алюминий пластичный и легко деформируемый металл, то в условиях эксплуатации при постоянном воздействии вибрационных нагрузок, колебаниях температур (например, тепловых ударов при заливке горячей воды в охлажденный радиатор) и коррозии мест соприкосновения пластин и трубок этот контакт может легко нарушаться, что приведет к снижению тепловой эффективности радиатора. Это особенно важно в связи с тем, что коэффициент оребрения здесь имеет довольно большую величину ($\psi = 6,75 \div 12,37$), и на долю охлаждающих пластин приходится значительная часть теплоотдачи радиатора.

Необходимость использовать цельнотянутые трубки, их ка-

Разъемный способ соединения бачков и трубных досок выдерживает давление при испытаниях воздухом до 4 кг/см^2 и его использование существенно упрощает ремонт радиатора.

Уплотнения радиатора НК-120 изготавливаются из бензомаслостойкой резины марки 4760.

Алюминиевый радиатор отопителя кабины (фиг. 18) выполнен двухзаходным по воде. Для крепления бачков используются зажимные планки со всех четырех сторон. Трубки радиатора имеют круглое сечение. В остальном конструкция подобна конструкции радиатора НК-120.

Основные данные по алюминиевым радиаторам типа НК-120 приведены в табл. 5.

Конструкция радиаторов типа НК-120 имеет ряд слабых сторон.

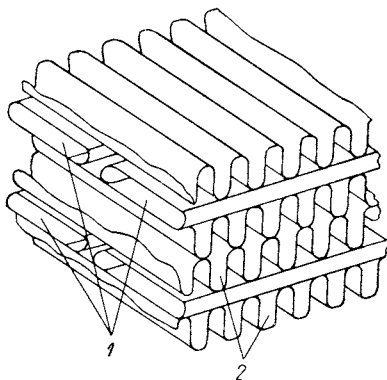
либровка и развальцовка в процессе изготовления значительно повышают себестоимость радиатора.

При калибровке трубок механическим путем на их внутренних поверхностях неизбежны задиры и другие нарушения окисной пленки, которые могут явиться очагом коррозии при эксплуатации.

Радиаторы трубчато-ленточного типа. Поверхность охлаждения трубчато-ленточного типа для алюминиевых радиаторов была впервые предложена еще в годы второй мировой войны доктором Линке из Аахенской Высшей технической школы (Германия); фирма «Царгес», специализировавшаяся на производстве изделий из алюминия, изготовила несколько экспериментальных алюминиевых радиаторов.

Основой для создания этих радиаторов явилось предложение нового метода пайки алюминия: алюминий покрывался слоем алюминиевого сплава, имевшего более низкую температуру плавления и выполнявшего при пайке роль твердого припоя, при расплавлении которого происходило соединение трубок с оребрением. Этот метод впоследствии лег в основу работ, проводившихся американскими и западноевропейскими фирмами по созданию алюминиевых автомобильных радиаторов трубчато-ленточного и трубчато-пластинчатого типов.

Экспериментальные радиаторы фирмы «Царгес» имели поверхность охлаждения, конструкция которой представлена на фиг. 19. Поверхность охлаждения состояла из плоскооувальных шовных трубок и припаянной к ним гофрированной ленты толщиной 0,15 мм. Материал как трубок, так и ленты был покрыт специальным наплавным металлом. Первые образцы радиаторов имели индивидуальные трубки со швом внахлестку на торце сечения трубки, последующие выполнялись также со швом внахлестку, однако расположенном в середине плоской стенки трубки. При этом из одной полосы алюминиевой ленты получалось как бы две расположенные рядом трубки сечением 19×2 мм. Спекание шва трубки и спекание трубки с гофрированной лентой происходило одновременно. В собранном радиаторе гофрированная лента соседних рядов трубок не находилась в контакте между собой, а трубки устанавливались в трубных досках также, как это имело место в радиаторе фирмы «Фимаг».



Фиг. 19. Конструкция поверхности охлаждения экспериментальных алюминиевых радиаторов фирмы «Царгес» (1943—1944 гг.):

1 — трубки; 2 — гофрированная лента

Шаг трубок по фронту составлял для разных модификаций радиаторов 10 и 14 мм, среднее расстояние между гофрами пластин соответственно 1,25 и 2,3 мм [34]. Проведенные испытания радиаторов «Царгес» показали, что эти радиаторы имеют в два раза меньший вес по сравнению с эквивалентными конструкциями медных радиаторов.

В послевоенные годы фирма «Царгес» продолжает работы по автомобильным алюминиевым радиаторам трубчато-ленточного типа. Радиаторы, изготовленные этой фирмой, демонстрировались в 1959 г. на международной автомобильной выставке во Франкфурте на Майне [32]. Среди них имелись образцы, снятые с автомобилей после пробега свыше 100 тысяч километров. Одной из особенностей радиаторов фирмы «Царгес» является использование электрической сварки в среде аргона для сборки верхнего и нижнего бачков, а также для соединения бачков с сердцевинной.

Фирма «Алкоа» проводит работы по созданию алюминиевых радиаторов трубчато-ленточного типа с 1946 г. Как и в радиаторах трубчато-пластинчатого типа здесь при переходе с латуни (меди) на алюминий необходимо почти двукратное увеличение толщины материала трубок и оребрения, и основной проблемой также остается вопрос пайки сердцевинной. Фирма начала работы с изготовления комбинированных радиаторов, имеющих медные (латунные) трубки и алюминиевое оребрение. Следующей ступенью явилось создание цельноалюминиевых паяных радиаторов.

В табл. 8 и 10 (гл. III) представлены данные по материалам, использовавшимся при изготовлении опытных образцов радиаторов трубчато-ленточного типа.

По сообщениям иностранной печати [45] начиная с 1956 г. фирма «Харрисон Радиатор Дивижн», входящая в концерн «Дженерал Моторс», изготавливает цельноалюминиевые радиаторы трубчато-ленточного типа для автомобиля Шевроле «Корвет». Радиатор имеет сердцевину с поперечным водяным потоком. Вес радиатора — 5,9 кг. Размеры сердцевинной: ширина — 550 мм, высота — 430 мм, глубина — 73 мм. Как сообщают, за годы, прошедшие с начала выпуска, значительно повысилось качество изготовления радиаторов и по состоянию на конец 1962 г. они являются более надежными в эксплуатации, чем медные. Этим компенсируется несколько повышенная себестоимость производства алюминиевых радиаторов. Однако ремонт повреждений в радиаторе остается серьезной проблемой и устраняется чаще всего заменой всего радиатора. Кроме того, как показал опыт, необходимо предпринимать меры к защите от коррозии внутренних поверхностей радиатора при хранении в складских условиях.

Опыт выпуска алюминиевых радиаторов для автомобиля «Корвет» оценен положительно и поэтому фирма «Харрисон» с 1963 г. начинает изготавливать алюминиевые радиаторы для

массовой модели шестицилиндрового легкового автомобиля «Шеви-11» [45].

За последние годы интенсивные работы по алюминиевым радиаторам для автомобилей проводятся в Японии [41], и на некоторых предприятиях налажено их производство. Для этих радиаторов, изготавливаемых также пайкой твердым припоем в соляной ванне, используются поверхности охлаждения трубчато-ленточного типа.

Основные данные одного из типов алюминиевых радиаторов, разработанного фирмой «Сумитомо» для автомобильной системы кондиционирования воздуха, приведены в табл. 4. Там же для сравнения приведены данные ранее использовавшегося радиатора трубчато-ребристого типа.

Таблица 4

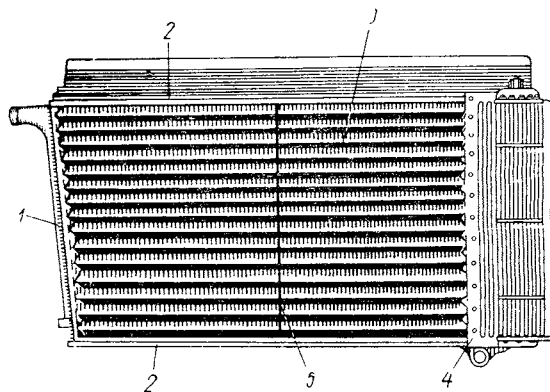
Основные данные радиаторов системы кондиционирования воздуха

Наименование показателя	Радиатор старой конструкции	Радиатор новой конструкции
Тип поверхности охлаждения	Трубчато-ребристый	Трубчато-ленточный
Используемый материал	Медь — трубы, алюминий — оребрение	Алюминий
Метод изготовления	Накатка	Пайка в соляной ванне
Поверхность охлаждения, m^2	5,65	3,57
Общий вес, кг	11,2	3,1
Габариты, м	0,614×0,32×0,05	0,455×0,31×0,025
Коэффициент объемной компактности, m^2/m^3	575	1010
Теплоотдача единицы веса радиатора, $kcal/ч \cdot кг$	450	1600

Алюминиевый радиатор имеет весьма компактную конструкцию и малый вес. Трубки радиатора, расположенные в два ряда по глубине, изготовлены из алюминиевой плакированной силумином ленты толщиной 0,54 мм. Гофрированная лента, выполняющая роль оребрения, имеет толщину 0,15 мм. Для повышения тепловой эффективности на поверхности гофрированной ленты выполнены пилообразные надрезы, турбулизующие проходящий через радиатор воздушный поток.

Радиаторы трубчато-ребристого типа. Конструкция поверхности охлаждения, представляющая собой трубки с индивидуальным оребрением, уже давно привлекает к себе внимание конструкторов, работающих над созданием алюминиевых радиаторов.

Еще в 1939—1940 гг. на одном из типов советских гусеничных машин устанавливался алюминиевый радиатор трубчато-ребристого типа (фиг. 20). Радиатор состоял из двух стальных коллекторов: выходного 4 и входного 1 и сердцевины 3, в которую входила 41 алюминиевая трубка. Трубки вваривались в днища коллекторов и были расположены горизонтально в три ряда по глубине радиатора. Крышки коллекторов крепились к трубным доскам болтами, для уплотнения под крышки помещались паронитовые прокладки. Увеличение жесткости сердцевины достигалось установкой между коллекторами двух стальных боковин 2, к которым, в свою оче-



Фиг. 20. Алюминиевый радиатор трубчато-ребристого типа, устанавливавшийся на одном из типов советских гусеничных машин в 1939—1940 гг.

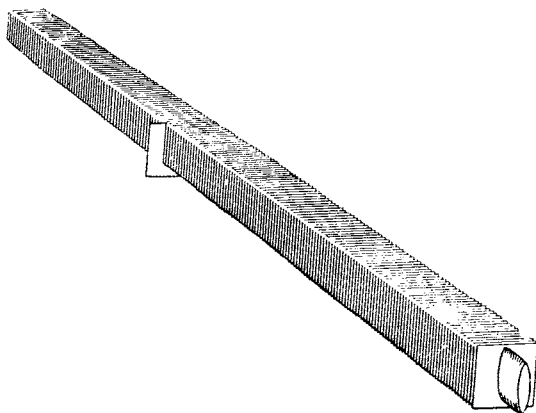
редь, крепилась перегородка 5, служащая для уменьшения вибраций трубок, имеющих значительную длину. Алюминиевые трубки радиатора (фиг. 21) имели эллиптическое (овальное) сечение и располагались в коридорном порядке. На трубки были плотно насажены прямоугольные алюминиевые ребра, имеющие форму поперечного сечения весьма близкую к треугольной.

Тепловые и аэродинамические качества подобных поверхностей охлаждения были подробно изучены Н. Б. Марьямовым [13]; характеристики одной из поверхностей такого типа приведены в табл. 5. Сложность изготовления ребренных трубок, имеющих отдельно выполненные трубки и ребра, а также ненадежность механического соединения между ними, ограничивают применение такого типа элементов для радиаторов автотракторных двигателей.

Радиаторы, подобные представленному на фиг. 20, оказались подверженными коррозионным разрушениям в связи с неудачной комбинацией применяемых материалов: алюминия — для сердцевины; стали — для бачков и деталей арматуры.

С конца 1940 г. на германских военных самолетах устанавливалась основная модель алюминиевого радиатора трубчато-ребри-

стого типа, которая постепенно вытесняла алюминиевый трубчато-пластинчатый радиатор фирмы «Фимаг». Конструкция этого радиатора и технология производства была разработана фирмой «Опель», а крупносерийное их производство было налажено в Германии фирмами «Опель», «Беер», и др., а также во Франции в период немецкой оккупации фирмой «Шоссон». Имеются сведения [34], что проводились работы по использованию радиаторов подобной конструкции для колесных и гусеничных машин.

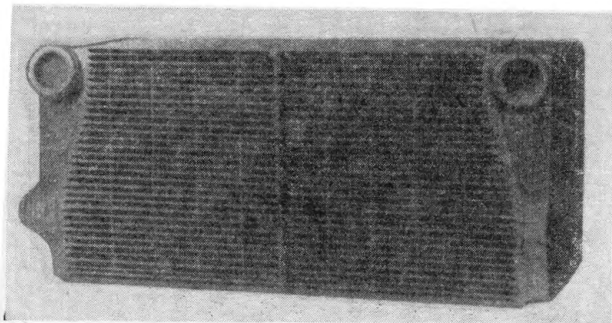


Фиг. 21. Оребренная трубка алюминиевого радиатора трубчато-ребристого типа.

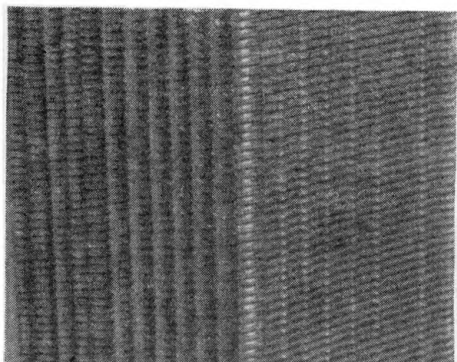
Авиационный алюминиевый радиатор трубчато-ребристого типа имел оригинальную конструкцию (фиг. 22) и для его изготовления использовались необычные для радиаторного производства методы, обеспечивающие большую прочность конструкции. Сердцевина радиатора представляла собой пакет охлаждающих элементов, выполненных в виде крупноразмерных плоскоовальных трубок, имеющих индивидуальное оребрение малой высоты. Для изготовления охлаждающих элементов использовался алюминий (см. табл. 2) без какой-либо защитной обработки.

Выбору поверхности охлаждения для радиаторов предшествовал комплекс многолетних исследовательских работ, причем основные усилия были направлены на уменьшение аэродинамического сопротивления, увеличение теплоотдачи и снижение веса оребренной трубки. В результате этих работ для производства радиаторов было выбрано несколько типов оребренных трубок, отличавшихся как размерами сечения, так и величиной оребрения.

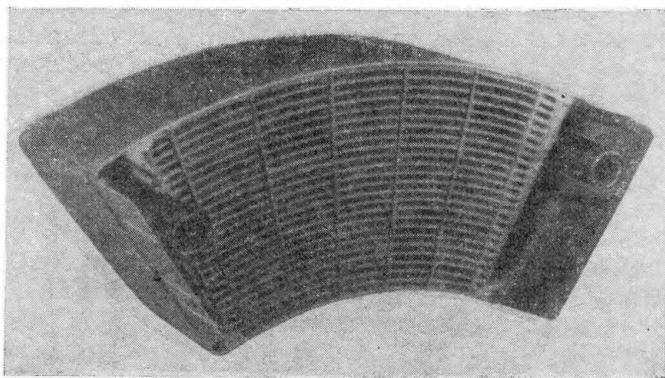
При сборке сердцевины оребренные трубки располагались параллельно в один или два ряда по глубине и их смежные торцы сваривались друг с другом атомно-водородной дуговой сваркой. Между трубками прокладывалась плоская алюминиевая фольга толщиной 0,1 мм, чтобы предотвратить возможность попадания при сборке ребер одной трубки между ребрами соседней, а также чтобы придать трубкам в сердцевине параллельное положение.



Фиг. 22. Авиационный алюминиевый радиатор трубчато-ребристого типа фирмы «Опель» (1943 г.).



Фиг. 23. Поверхность охлаждения алюминиевого радиатора трубчато-ребристого типа фирмы «Опель».



Фиг. 24. Алюминиевый радиатор трубчато-ребристого типа самолета «Юнкерс Ю-88».

Для повышения тепловой эффективности сердцевин, предназначенных для работы при низких скоростях воздуха, на ребрах выполнена специальная зиговка, увеличивающая турбулентность воздушного потока. На фиг. 23 представлен участок сердцевины алюминиевого авиационного радиатора.

Основные геометрические характеристики одной из модификаций поверхности охлаждения, именованной «системой № 160», следующие: размеры плоскоооальной трубки по наружному сечению — 84×2 мм; толщина стенки трубки — 0,6 мм; ширина прохода для воды — 0,8 мм; средняя толщина ребра — 0,3 мм; высота ребра — 3,0—3,4 мм; шаг между ребрами — 2,2 мм; шаг трубок по фронту — 9 мм. Другие данные поверхности охлаждения приведены в табл. 5.

К сердцевине, образованной сваркой оребренных трубок, приваривались входной и выходной коллекторы, и весь радиатор помещался в защитный кожух из анодированного дуралюмина. Стальные детали арматуры радиатора для предотвращения контактной коррозии имели цинковое покрытие.

Ниже приведены сравнительные данные по алюминиевому и медному радиаторам, устанавливавшимся на самолете «Мессершмитт Me 109Ф» с двигателем «Мерседес-Бенц»:

	Алюминиевый	Медный
Вес радиатора, кг	26,3	35,8
Поверхность охлаждения, м ²	19,1	21,2
Фронтальная поверхность, м ²	0,186	0,15

На фиг. 24 приведен внешний вид одной из конструкций алюминиевого радиатора трубчато-ребристого типа, применявшейся на самолете «Юнкерс Ю-88». Радиатор имел дугообразную форму и весил 12 кг. Габаритные размеры радиатора: длина — 584 мм, ширина — 152 мм, глубина — 229 мм. Максимальная рабочая температура — 115° С, максимальное рабочее давление — 0,7 кг/см².

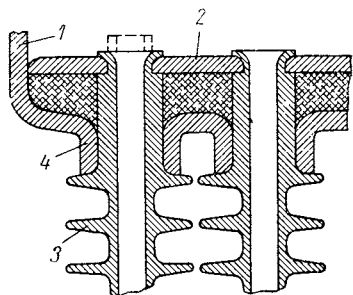
Анализ методов изготовления алюминиевых радиаторов указанной конструкции показывает, что при соответствующем оснащении производства такой метод может оказаться перспективным, однако весовые характеристики радиаторов трубчато-ребристого типа менее благоприятны, чем характеристики других типов алюминиевых радиаторов.

Подобная конструкция поверхностей охлаждения была использована в алюминиевых радиаторах, разработанных в СССР в 1952 г. для автомобильных двигателей [44]. Оригинальным элементом конструкции радиатора явилось крепление плоских оребренных трубок в трубных досках бачков, как это показано на фиг. 25.

Этот метод соединения был разработан с целью отказа от недостаточного технологического соединения, использующего аргоновую сварку.

Трубная доска 1 имеет отверстия, соответствующие по форме концам оребренных трубок 3 с отбортовкой 4. Между трубной доской со вставленными трубками и опорной плитой 2 помещается пластический материал, который под воздействием давления на опорную плиту и нагрева до соответствующей температуры прочно скрепляет все части в единое целое. Выступающие концы трубок развальцовываются. В качестве пластического материала при сборке радиатора применялись силиконовая резина, силиконовый клей (эпокси 1200) или нейлон.

С использованием описанного метода соединения трубчатых



Фиг. 25. Конструкция крепления трубок в трубных досках алюминиевого радиатора, разработанная в ЧССР.

элементов с бачками были изготовлены опытные образцы алюминиевых радиаторов для легкового автомобиля «Шкода 1200» и грузового автомобиля «Шкода 706R».

Радиатор автомобиля «Шкода 1200» состоял из 35 плоскоовальных алюминиевых трубок, оребрение на которых было выполнено накаткой. Трубки расположены в один ряд с шагом 10 мм. Длина активной части трубок — 376 мм. Уплотнение трубок производилось пластиком марки «Силико 6». Верхний и нижний бачки радиатора штампованные, съемные; уплотнение бачков достигается с по-

мощью резиновых прокладок. Соединения входного и выходного патрубков — фланцевые, на болтах.

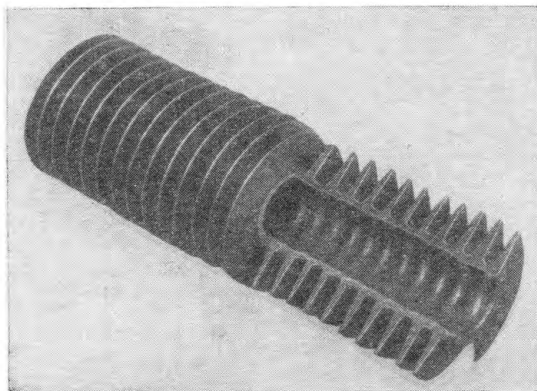
Опытный радиатор грузового автомобиля «Шкода 706R» имел аналогичную конструкцию и состоял из 69 оребренных трубок. Трубки были расположены в два ряда по глубине радиатора. Верхние и нижние бачки съемные, парные, соединены между собой трубопроводами.

Опытные образцы радиаторов прошли эксплуатационные испытания, результаты которых признаны удовлетворительными. По-видимому, в связи с недоработкой технологии массового изготовления и высокой себестоимостью радиаторы описанной конструкции до сих пор не поступили в производство.

Разновидностью конструкции трубчато-ребристого типа является радиатор, составленный из нескольких рядов круглых оребренных трубок малого диаметра, спиральное оребрение на которых выполнено методом накатки (фиг. 26). Уплотнение трубок в трубных досках в этом случае может осуществляться, например, запрессовкой на индивидуальных резиновых втулках, как это имеет место в ряде тракторных радиаторов (фиг. 27).

Такое крепление трубок имеет следующие преимущества: повышенное сопротивление вибрации и напряжениям при расшире-

нии, благодаря наличию резиновых упругих втулок и легкость ремонта (возможна замена при повреждениях отдельных трубок). Некоторыми специализированными фирмами, и в частности фир-



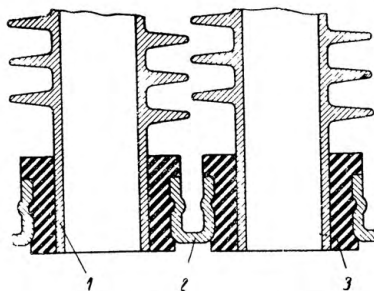
Фиг. 26. Трубка со спиральным оребрением, полученным накаткой.

мой «Норман Ишервуд» (Англия), организовано изготовление типовых резиновых втулок для радиаторов.

Радиаторы секционного типа. Трудности с созданием цельно-алюминиевого радиатора паяной конструкции, затруднения с его ремонтом в эксплуатационных условиях, а также необходимость унификации радиаторов различного назначения привели в нашей стране к разработке в 1956—1962 гг. конструкции алюминиевого радиатора секционного типа, образцы которых и варианты технологии изготовления демонстрировались на ВДНХ в 1961—1962 гг.

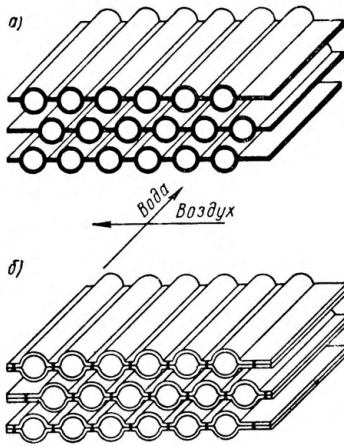
Основными конструктивными особенностями алюминиевого радиатора секционного типа являются:

1) расчленение охлаждающего пакета радиатора на отдельные теплообменные элементы — секции, имеющие простую конструкцию и позволяющие использовать для их изготовления большое разнообразие технологических процессов;

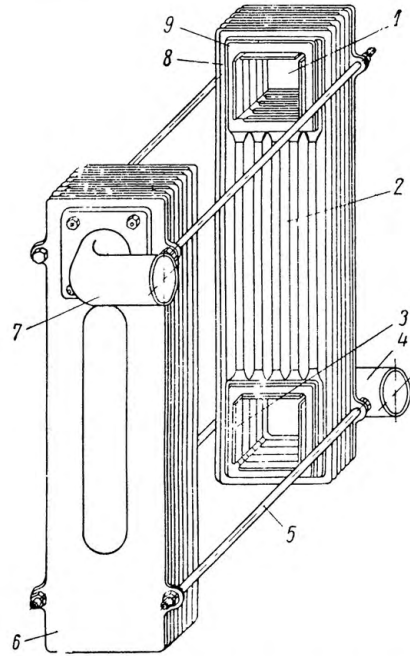


Фиг. 27. Крепление оребренных трубок в трубной доске с помощью индивидуальных резиновых втулок:

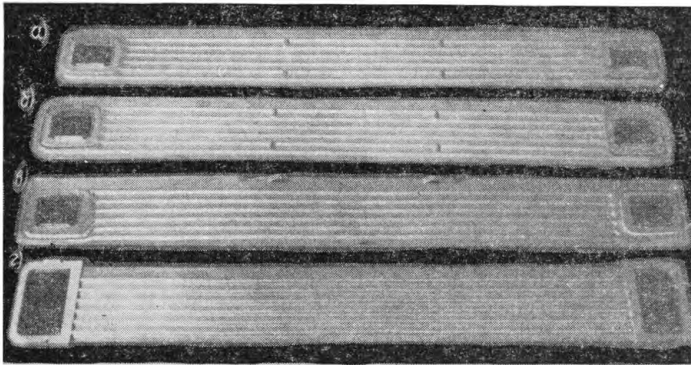
1 — оребренная трубка; 2 — трубная доска; 3 — резиновая втулка.



Фиг. 28. Схема образования поверхностей охлаждения радиаторов секционного типа: *а* — из монолитной радиаторной ленты (трубки в пазе); *б* — соединением двух волнистых пластин.



Фиг. 29. Схема алюминиевого радиатора секционного типа.



Фиг. 30. Секции алюминиевого радиатора, изготовленные различными методами: *а* — клееварным соединением; *б* — контактной электросваркой; *в* — сваркой прокаткой по печатной схеме; *г* — из монолитной ленты, полученной из расплава.

2) использование высокоэффективных поверхностей охлаждения (фиг. 28), имеющих вид волнистых пластин или трубок в полосе;

3) легкая разборность конструкции, что позволяет осуществить ремонт радиатора простой заменой поврежденных деталей; при этом полностью восстанавливается тепловая эффективность радиатора;

4) унификация основных деталей — секций и арматуры для радиаторов различного назначения.

Радиатор, принципиальная схема которого представлена на фиг. 29, состоит из пакета секций 8, стянутых между двумя жесткими боковинами 6 при помощи стяжных шпилек 5. Во всех разъемах между проушинами соседних секций, боковинами и патрубками 4 и 7 помещаются уплотнительные прокладки 9, выполняемые из листового уплотнительного материала (например, паронита). Верхние и нижние проушины пакета секций образуют соответственно входной 1 и выходной 3 коллекторы радиатора.

Горячая вода из двигателя через патрубок попадает во входной коллектор и входит в каналы 2, имеющиеся в каждой секции. Двигаясь по каналам, вода отдает тепло потоку воздуха, проходящему мимо секций в поперечном направлении. Охлажденная в секциях вода собирается в другом коллекторе и через выходной патрубок направляется к двигателю.

Секция радиатора (фиг. 30) состоит из активной части и проушин. Активная часть секции является ее основным теплоотдающим элементом — поверхностью охлаждения. В зависимости от выбранной технологии активная часть изготавливается либо из монолитной радиаторной ленты (трубки в полосе), либо соединением между собой двух штампованных пластин.

Проушины располагаются на обоих концах активной части секции и предназначены для обеспечения прохода воды в каналы секции, уплотнения между секциями при сборке и установки секций в радиаторе на определенном расстоянии одна от другой.

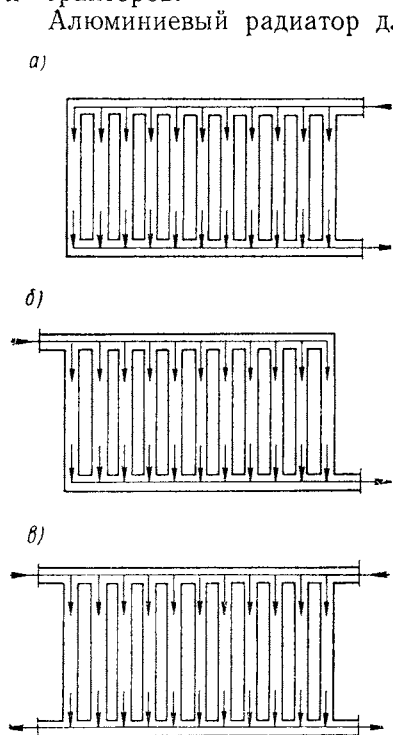
Размеры внутреннего окна проушины выбираются таким образом, чтобы в радиаторе существовали условия для равномерного распределения воды по каналам секций.

На равномерность распределения воды по секциям сердцевины оказывает влияние также выбранная схема циркуляции воды в радиаторе, т. е. количество и расположение входных и выходных патрубков. Различают следующие основные схемы циркуляции воды (фиг. 31):

- а) с односторонним подводом и отводом;
- б) с разносторонним подводом и отводом;
- в) с двухсторонним подводом и отводом.

Перечисленные схемы циркуляции и их комбинации могут быть осуществлены как при вертикальном, так и при горизонтальном расположении секций в радиаторе.

В зависимости от выбранной технологии изготовления имеются две разновидности конструкции секции и ее составных элементов (фиг. 30). В качестве примера рассмотрим конструкции некоторых опытных образцов алюминиевых радиаторов для автомобилей и тракторов.



Фиг. 31. Схемы циркуляции воды в радиаторах секционного типа: а — с односторонним подводом и отводом; б — с разносторонним подводом и отводом; в — с двухсторонним подводом и отводом.

ступления воды из коллектора внутрь секции. Распорные кольца штампуются из листа АМг толщиной 1,0 мм.

Так как в данном случае при сборке секций требуется шахматное расположение водяных каналов, продольная ось отверстий проушин 7 смещена относительно продольной оси пластин на расстояние, равное половине шага водяных каналов. При сборке радиатора соседние секции поворачиваются одна относительно другой на 180° .

На пуклеванном распорном кольце имеются выступы 4, служащие при сборке радиатора для центровки секций и взаимной

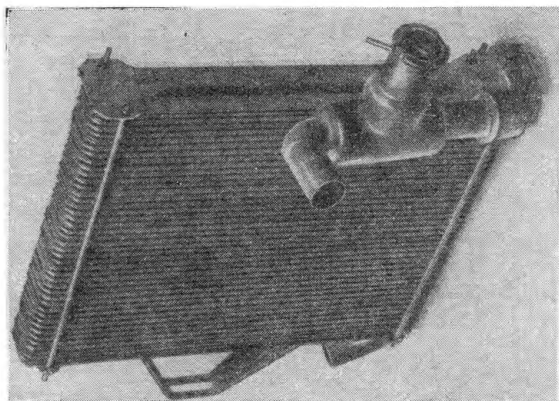
Алюминиевый радиатор для автомобиля «Москвич-407» представляет собой легкоразборный пакет из шестидесяти теплообменных секций (фиг. 32). Секции стянуты между двумя жесткими каркасами (верхним и нижним) четырьмя стяжными шпильками; между секциями для уплотнения помещены плоские прокладки из паронита или картона. Секции расположены под углом около 5° к горизонту, чтобы избежать неполного слива воды при опорожнении радиатора. Радиатор полностью взаимозаменяем со стандартным латунным радиатором МТ407.

Секция радиатора (фиг. 33) состоит из двух одинаковых штампованных пластин, изготовляемых из алюминиевой ленты АМц толщиной 0,3 мм.

При сборке пластины 1 складываются так, чтобы вдоль секции образовались водяные каналы 5, имеющие круглое сечение. Внутри секции около отверстий каждой из проушин помещаются по два распорных кольца: одно из которых 2 выполнено плоским, а другое 3 имеет пуклевки, чем обеспечивается возможность по-

их фиксации. На поверхности пластин выштампованы дистанционные упоры б, с помощью которых обеспечивается сохранение заданного шага секций по фронту.

Вода в радиатор из двигателя поступает через расширительный бачок-патрубок, служащий для воздухо- и пароотделения и заполнения водой системы охлаждения. Детали арматуры радиатора (верхний и нижний каркасы, патрубки и др.) имеют



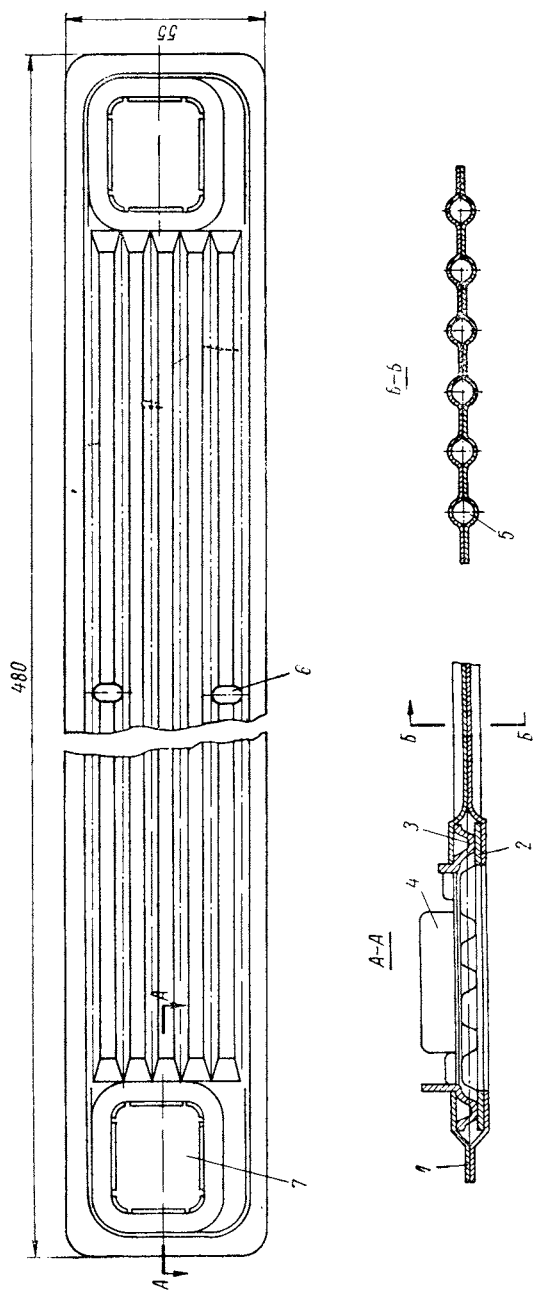
Фиг. 32. Опытный образец алюминиевого радиатора секционного типа для автомобиля «Москвич-407».

простую форму и могут быть изготовлены из алюминиевого сплава, стали (с соответствующим покрытием) или пластмассы.

Сравнительные технические данные стандартного латунного и опытного алюминиевого радиаторов автомобиля «Москвич-407» приведены ниже:

	Латунный радиатор	Алюминиевый радиатор
Емкость радиатора, л	3,5	2,1 ¹
Размеры сердцевины, мм:		
ширина	419	375
высота	320	300
глубина	50	59
Сухой вес радиатора, кг	8,1	4,63
Поверхность охлаждения, омы- ваемая воздухом, м ²	5,48	2,94
Площадь живого сечения по воде, дм ²	0,242	0,327
Применяемый материал	Латунь, оло- вянно-свин- цовый припой, черные металлы	Алюминиевые сплавы (АМц и АЛ-4), па- ронит и пласт- масса

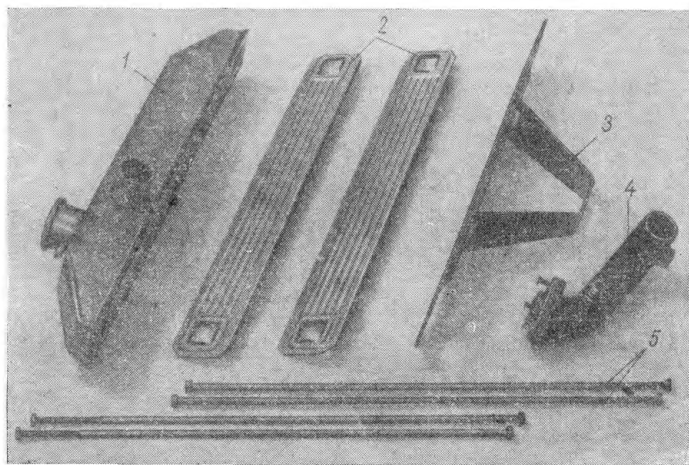
¹ Без расширительного бачка.



Фиг. 33. Секция алюминиевого радиатора «Москвич-407» (секция первого типоразмера унифицированного ряда секций).

Имелись модификации опытных образцов радиаторов для автомобиля «Москвич-407», в которых роль верхнего каркаса выполнял расширительный бачок, изготовленный из листового алюминиевого сплава АМг. Соединение деталей бачка осуществлялось аргоно-дуговой сваркой. На фиг. 34 представлены детали этой модификации радиатора.

В 1960—1961 гг. институтом ЦНИТА и рядом других организаций была выпущена опытная партия алюминиевых радиаторов для автомобилей «Москвич-407» в количестве нескольких десятков штук.

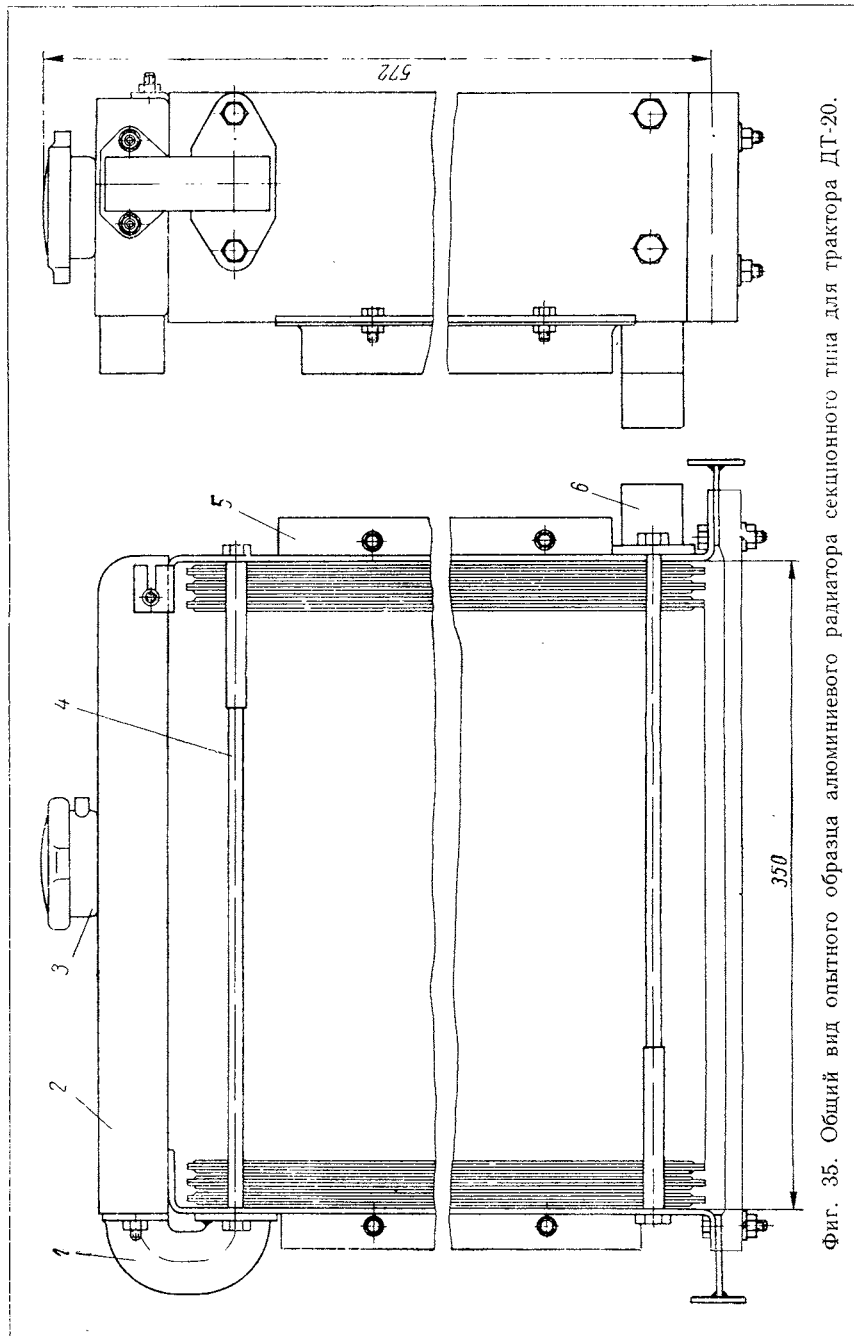


Фиг. 34. Детали алюминиевого радиатора автомобиля «Москвич-407»:

1 — верхний бачок; 2 — секции; 3 — нижний каркас; 4 — выходной патрубок; 5 — стяжные шпильки.

Секции радиаторов опытной партии в основном изготавливались роликовой электросваркой двух штампованных пластин. Часть радиаторов имела антикоррозионное хромофосфатное покрытие, рекомендованное институтом НИИхиммаш. Покрытие наносилось химическим способом как на внешние, так и на внутренние поверхности радиаторов.

На фиг. 35 приведен общий вид опытного образца алюминиевого радиатора для колесного трактора ДТ-20. В радиаторе применены те же унифицированные секции, что и для радиатора автомобиля «Москвич-407», однако их количество увеличено до 70. Расположение секций в радиаторе — вертикальное, секции стянуты четырьмя шпильками 4 между двумя жесткими боковинами 5, выполненными из листа АМг. В верхней части к боковинам крепится расширительный бачок 2, имеющий заливную горловину 3,



Фиг. 35. Общий вид опытного образца алюминиевого радиатора секционного типа для трактора ДТ-20.

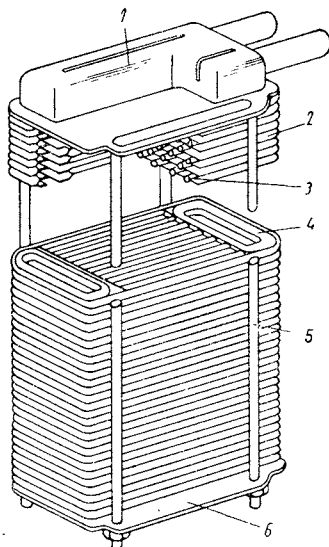
которая закрывается крышкой с паровоздушным клапаном. Расширительный бачок соединяется с входным коллектором сердцевины переходным патрубком. В нижней части другой боковины расположен выходной патрубок б. Патрубки установлены на уплотнительных прокладках. Вода из двигателя поступает в расширительный бачок, а оттуда через переходной патрубок 1 в верхний коллектор. Далее циркуляция воды происходит по схеме, показанной на фиг. 31, б.

Недостатком конструкции описанных радиаторов автомобиля «Москвич-407» и трактора ДТ-20 является недостаточная прочность соединения, полученного роликовой сваркой, что связано с имевшей место нестабильностью режимов сварки в процессе изготовления опытной партии радиаторов.

Секционный принцип сборки имеет также алюминиевый радиатор отопителя кабины, схема которого представлена на фиг. 36. Каждая секция отопителя выполнена из двух пластин, штампованных из ленты АМц толщиной 0,5 мм. Пластины соединены в секцию холодной пресовой сваркой. Внешний вид секции отопителя представлен на фиг. 37. Циркуляция воды в радиаторе отопителя происходит по схеме, показанной на фиг. 31, а.

Примером радиатора, выполненного из монолитной радиаторной ленты, является конструкция опытного образца алюминиевого радиатора трактора «Кировец К-700» (фиг. 38).

Как и в предыдущих примерах, радиатор имеет легкоразборную конструкцию и представляет собой пакет секций, расположенных вертикально. Секции стягиваются между двумя жесткими стальными боковинами при помощи восьми шпилек; этими же шпильками крепятся входные и выходные патрубки. При сборке радиатора проушины секций образуют верхний и нижний водяные коллекторы, а секции устанавливаются так, чтобы водяные каналы сердцевины располагались в шахматном порядке. Для достижения герметичности между проушинами помещаются прокладки из паронита толщиной 0,8 мм. Боковины снабжены кронштейнами, предназначенными для крепления радиатора на тракторе.

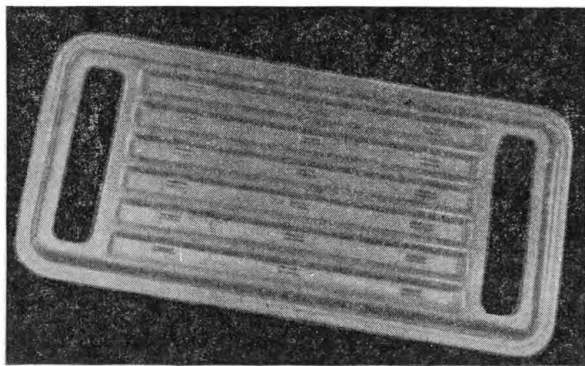


Фиг. 36. Алюминиевый радиатор секционного типа для отопителя кабины автомобиля:

- 1 — бачок радиатора; 2 — секция;
3 — водяной канал; 4 — прокладка;
5 — стяжная стремьянка; 6 — каркас.

Циркуляция воды в радиаторе происходит по схеме, представленной на фиг. 31, в. Перед поступлением в радиатор вода проходит через расширительный бачок, включенный последовательно в водяные магистрали, соединяющие двигатель с радиатором. В бачке, изготовленном из стального листа, расположены наливная горловина и паровоздушный клапан с паротводной трубкой.

Секция радиатора (фиг. 39) состоит из пластины (активной части) и двух проушин. Пластина, изготовленная из алюминиевого сплава АМц, вырезается из ленты, вытянутой непосредственно

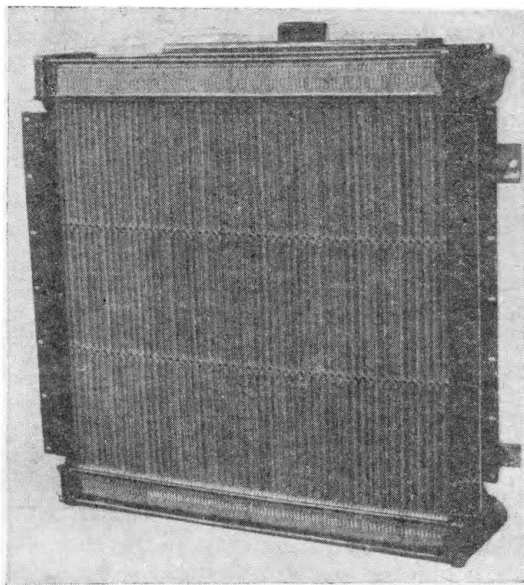


Фиг. 37 Секция радиатора отопителя, изготовленная холодной прессовой сваркой.

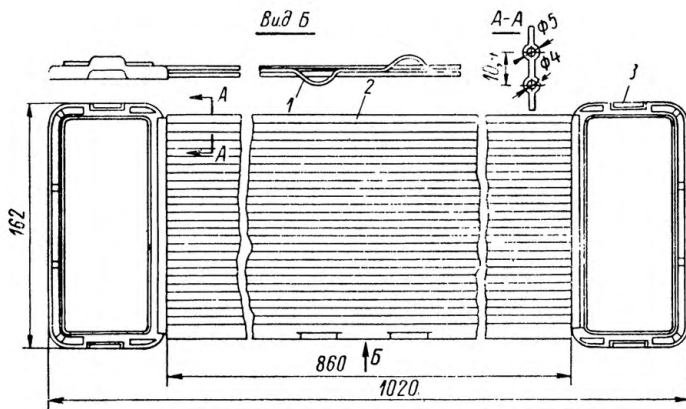
из расплава, или полученной сваркой прокаткой по печатной схеме. Проушины изготавливаются литьем под давлением из сплава АЛ-2. Соединение проушины с пластиной в секцию производится склейкой при помощи эпоксидного клея с одновременным разжатием концов трубок, выступающих внутрь проушин, или сваркой. Более произвольным и экономически целесообразным является сварка или армированная отливка проушин литьем под давлением непосредственно на пластину. Возможные варианты соединения радиаторной ленты с проушиной представлены на фиг. 40.

Каждая проушина имеет по два выступа и соответственно расположенных два гнезда для центровки секций относительно друг друга. Заданный шаг между секциями сердцевины достигается при помощи выштампованных дистанционных упоров, находящихся на широком плавнике пластины.

При выборе геометрической характеристики поверхности охлаждения ставилась задача обеспечения минимальной засоренности внешней поверхности радиатора соломой, половой и т. п.

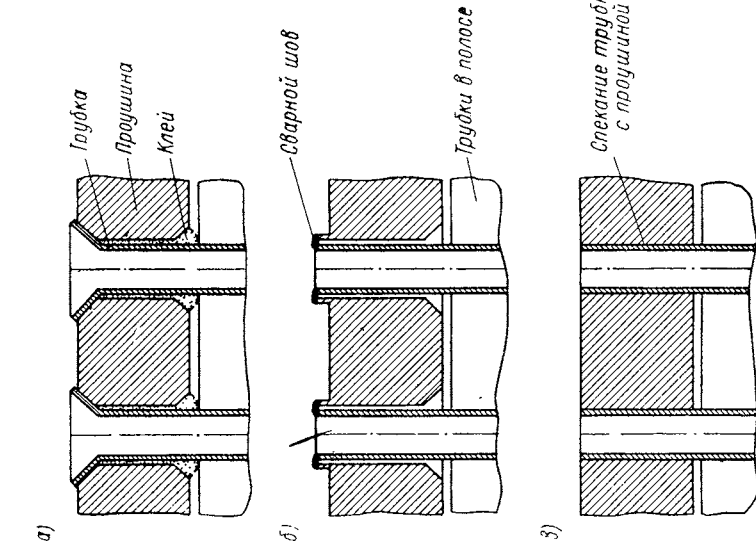


Фиг. 38. Опытный образец алюминиевого радиатора трактора «Кировец К-700».

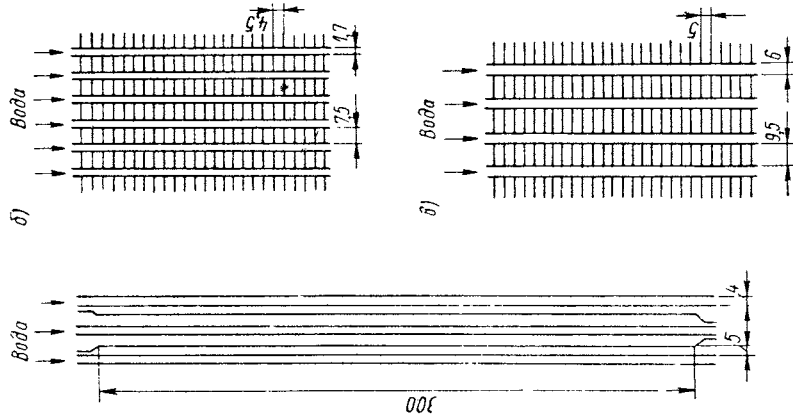


Фиг. 39. Общий вид секции алюминиевого радиатора трактора «Кировец К-700».

1 — дистанционный упор; 2 — пластина; 3 — проушина.



← а) Фиг. 40. Варианты соединения пластины и продужины в секции: а — склейка с разжатием концов трубок; б — сварка; в — армированная заливка.



→ Фиг. 41. Живые сечения воздушных каналов сердцевин тракторных радиаторов: а — алюминиевый радиатор трактора К-700; б — медный радиатор трактора МТЗ; в — медный радиатор трактора ДТ-54.

Поэтому наименьшая ширина воздушного канала в самом узком сечении сердцевины составляет 5 мм при высоте 300 мм, хотя это несколько ухудшило объемные показатели сердцевины.

На фиг. 41 для сравнения приведены живые сечения воздушных каналов в алюминиевом радиаторе трактора «Кировец К-700» и в серийных медных радиаторах тракторов МТЗ-5 и ДТ-54. Как видно из схемы сердцевина радиатора трактора «Кировец К-700» имеет значительно большие живые сечения воздушных каналов.

Ниже приведены основные данные радиатора трактора «Кировец К-700»:

Сухой вес, кг:	
радиатора	90,8
сердцевины	34,4
Размеры сердцевины радиатора, мм:	
ширина	944
высота	860
глубина	145
Фронтальная поверхность радиатора, м ²	0,812
Количество секций	111
Число водяных каналов в секции	13
Шаг между секциями, мм	8,5
Поверхность охлаждения по воздуху, м ²	35,52
Площадь живого сечения по воде, дм ²	1,8
Емкость радиатора (без расширительного бачка), л	32

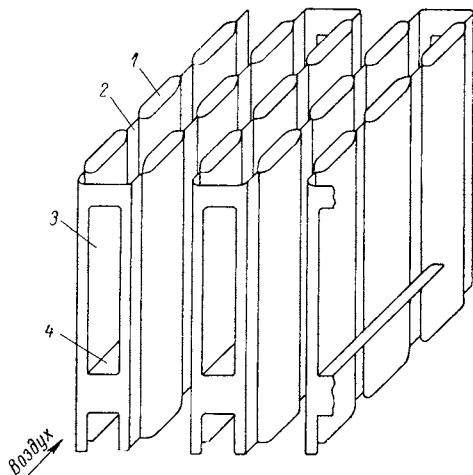
Ленинградским Кировским заводом в 1962 г. была выпущена опытная партия радиаторов, которые прошли лабораторные и полевые испытания. В результате испытаний было установлено, что радиаторы обеспечивают нормальное охлаждение двигателя, по прочности не уступают медным паяным радиаторам и имеют хорошие ремонтные качества. В то же время при эксплуатационных испытаниях в зимнее время были отмечены случаи течи радиаторов из-за разрыва стенок водяных каналов при замерзании в них воды. Причиной этому явилась, в первую очередь, низкая пластичность металла радиаторной ленты, полученной из расплава, что в сочетании с круглой формой сечения водяных каналов привело к повреждениям.

Весьма близко к типу поверхности охлаждения к описанным выше радиаторам секционного типа стоит конструкция алюминиевого автомобильного радиатора, запатентованного во Франции американской фирмой «Олин Мэтисон Кемикл Корпорейшн»¹.

В радиаторе используется поверхность охлаждения «трубки в полосе». Радиатор изготавливается методом сварки горячей прокаткой по печатной схеме с последующим раздутием водяных каналов. Схема конструкции сердцевины радиатора приведена на фиг. 42.

¹ Патент № 1242171 кл. F25h от 16 августа 1960 г.

Как видно из схемы, сердцевина изготавливается из одного листа «трубки в полосе», сложенного гармошкой таким образом, чтобы обеспечить коридорное расположение водяных каналов 1, имеющих плоскоовальное сечение, между смежными каналами расположены ребра 2. Для обеспечения прохода воздуха около водяных каналов в торцовых промежутках листа между каналами пробиваются прямоугольные отверстия 3. Отогнутые во внутрь пластины 4 образуют дистанционные упоры сердцевины.



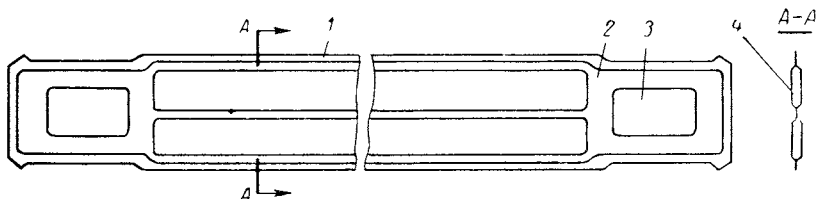
Фиг. 42. Схема конструкции сердцевины радиатора фирмы «Олин Мэтисон Кемикл Корпорейшн».

тентованная в 1960 г. английской фирмой «Империл Кемикл Индастриес»¹. Радиатор имеет оригинальную конструкцию и состоит из отдельных расположенных горизонтально элементов, спаянных между собой.

В остальном радиатор имеет общепринятую конструкцию, т. е. верхнюю и нижнюю трубные доски, куда заделываются концы трубок, а также верхний и нижний бачки.

Недостатком такой конструкции алюминиевой сердцевины являются повышенное аэродинамическое сопротивление вследствие наличия торцовых промежутков между каналами, а также трудность выполнения ремонта по устранению течей.

Радиаторы пластинчатого типа. Большой интерес представляет конструкция алюминиевого радиатора, запатентованная в 1960 г. английской фирмой «Империл Кемикл Индастриес»¹.



Фиг. 43. Элемент радиатора фирмы «Империл Кемикл Индастриес».

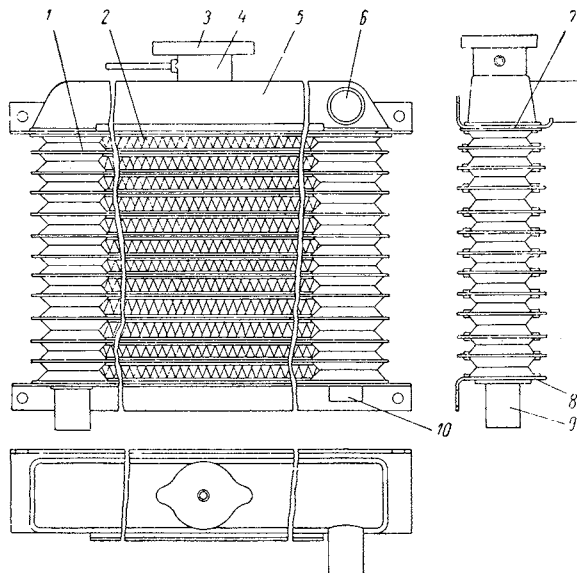
Каждый элемент радиатора (фиг. 43) образуется из двух одинаковых штампованных пластин 1, сложенных вместе; при этом внутри элемента получаются концевые полости 2 с прямоуголь-

¹ Патент № 850871 кл. F25h от 12 октября 1960 г.

ными отверстиями 3 и две продольные трубки 4, имеющие плоско-овальное сечение. Соединение элемента производится пайкой твердым припоем (типа силумина) в соляной ванне.

В качестве косвенной поверхности охлаждения используется гофрированная лента, которая помещается между каждой парой соседних элементов и соединяется с ними пайкой. Выполнение прямой и косвенной поверхности охлаждения позволяет отнести этот радиатор к пластинчатому типу.

Сердцевина радиатора (фиг. 44), состоящая из трубчатых элементов 1 и помещенных между ними гофрированных лент 2,



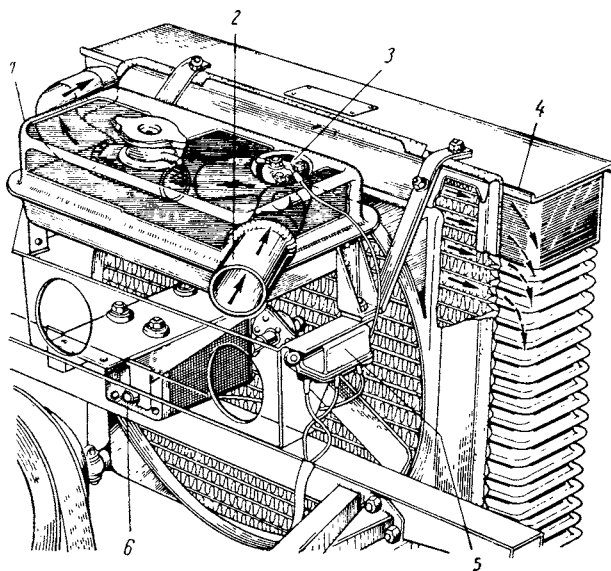
Фиг. 44. Конструкция цельноалюминиевого радиатора фирмы «Империл Кемикл Индастриес».

располагается между верхней 7 и нижней 8 плитами радиатора. Крайние полости трубчатых элементов образуют входной и выходной коллекторы радиатора. Нижняя плита имеет выходной патрубок 9 и бобышку 10 с отверстием для установки спускного крана. Верхняя плита является дном расширительного бачка 5, в котором установлен входной патрубок 6 и заливная горловина 4. Заливная горловина закрывается крышкой 3 с паровоздушным клапаном. Дно верхнего бачка имеет только одно отверстие, соединяющее его с входным коллектором сердцевины. Верхняя и нижняя плиты имеют кронштейны, служащие для крепления радиатора на автомобиле.

Радиаторы подобной конструкции устанавливались в 1961 г. на 3,8-литровую модель легкового автомобиля «Ягуар-Е» (Англия).

Расположение радиатора в моторном отделении и применяемый для лучшего пароотделения отдельный расширительный бачок показан на фиг. 45.

Как показывает опыт при создании конструкций алюминиевых радиаторов находят применение почти все типы поверхностей охлаждения, представленные на фиг. 14. Исключение составляет



Фиг. 45. Радиатор с поперечным водяным потоком, устанавливаемый на автомобиле «Ягуар-Е» (Англия):
1 — расширительный бачок; 2 — входной патрубок бачка; 3 — термостатический выключатель вентилятора; 4 — радиатор;
5 — реле вентилятора; 6 — электромотор вентилятора.

лишь поверхность охлаждения сотового типа, которая в настоящее время уже почти не применяется даже в медных паяных радиаторах.

Выбор типа поверхности охлаждения при создании алюминиевого радиатора должен быть, в первую очередь, согласован с применяемой технологией изготовления, а также должен опираться на технико-экономическую эффективность той или иной конструкции радиатора и соответствующей ей технологии изготовления.

Расширительные бачки. В современных системах охлаждения в связи с повышением их тепловой напряженности и интенсивности циркуляции воды, что часто приводит к нежелательным явлениям аэрации, большое внимание уделяется разработке правильной конструкции расширительных бачков радиаторов. Этот вопрос имеет особое значение для алюминиевых радиаторов, так

как при аэрации увеличивается вероятность их коррозионных поражений.

В настоящее время значительное распространение начинают получать системы охлаждения с отдельными от радиатора расширительными бачками, которые имеют различные схемы включения в цепь циркуляции и устанавливаются в самой высокой точке этой цепи. Отдельные расширительные бачки в настоящее время устанавливаются на легковых автомобилях с низкой передней частью моторного отделения, где нет места для установки верхнего бачка радиатора соответствующего объема и высоты. Отдельный расширительный бачок применяется также с радиаторами, имеющими оригинальную компоновку, например с горизонтальным расположением водяных трубок, с радиаторами секционного типа и т. п. (фиг. 32 и 45).

Кроме того, рекомендуется применять отдельные расширительные бачки для двигателей мощностью свыше 200—300 л. с., для повышения эффективности работы системы охлаждения.

Расширительный бачок служит для:

а) создания в системе необходимого запаса жидкости для пополнения появляющихся случайных утечек и надежного заполнения водяной рубашки двигателя охлаждающей жидкостью на спусках, подъемах и кренах; часто расширительный бачок снабжается горловиной для заполнения водой всей системы охлаждения;

б) создания необходимого напора на входе в водяной насос;

в) эффективного отделения пара и воздуха из потока циркулирующей жидкости с целью предотвращения их попадания в радиатор и водяной насос;

г) регулирования давления в системе охлаждения, что достигается установкой соответствующего клапана в паровоздушном пространстве бачка.

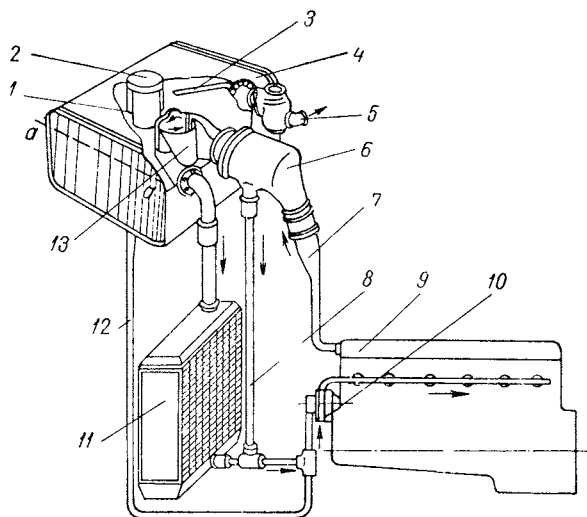
На фиг. 46 приведена схема устройства расширительного бачка и схема его включения в цепь циркуляции охлаждающей жидкости. По данным Коффмана [39], такой бачок обеспечивает эффективную работу системы охлаждения.

Бачок включен в цепь циркуляции между двигателем и радиатором. В системе предусмотрен параллельный компенсационный трубопровод, соединяющий бачок с входом в водяной насос.

Бачок оборудован заливной горловиной с сетчатым фильтром и герметичной крышкой; паровоздушным клапаном, расположенным в корпусе и снабженным парозаборной трубкой, и сепаратором. Уровень воды в бачке $a-a$ определяется нижней кромкой заливной горловины, чем обеспечивается необходимый объем паровоздушного пространства. Это пространство служит для выделения воздуха и пара, контроля давления в пространстве и предотвращения потерь охлаждающей жидкости при работе паровоздушного клапана (при пульсациях давления в системе). При этом следует учесть, что с точки зрения потерь охлаждающей

жидкости более предпочтительной является раздельная от крышки заливной горловины установка клапана, т. е. такая, как изображена на фиг. 46.

Объем паровоздушного пространства в бачке должен составлять 5—6%, а объем расширительного бачка — 10—15% емкости системы [7]. Для некоторых машин, работающих в исключительно тяжелых условиях, последняя величина может достигать 30%.



Фиг. 46. Конструкция расширительного бачка и схема его включения в цепь циркуляции охлаждающей жидкости:

1 — фильтр; 2 — заливная горловина; 3 — парозаборная трубка; 4 — расширительный бачок; 5 — корпус клапана; 6 — корпус термостата; 7 — трубопровод; 8 — трубопровод от термостата к водяному насосу; 9 — двигатель; 10 — водяной насос; 11 — радиатор; 12 — компенсационный трубопровод; 13 — сепаратор.

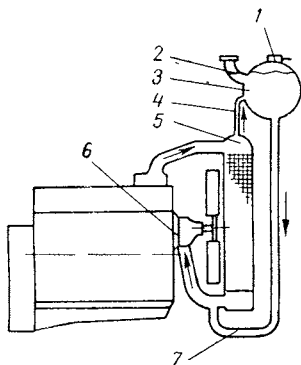
Объем расширительного бачка выбирается с учетом объемного расширения охлаждающей жидкости при ее нагреве от температуры, при которой заливалась жидкость в систему, до рабочей температуры.

Отделение пара и воздуха из потока поступающей в бачок жидкости может быть произведено различными способами. Одно из простейших устройств такого типа представлено на фиг. 45, где в трубопроводе, проходящем в бачке под уровнем охлаждающей жидкости, имеется разрыв, благодаря чему обеспечивается расширение потока жидкости и соответствующее выделение пара и воздуха.

Более эффективная схема сепаратора приведена на фиг. 46, где отделение пара и воздуха достигается посредством трубопро-

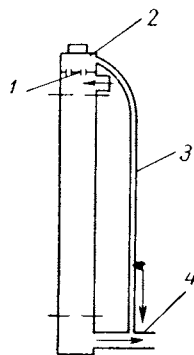
вода, имеющего форму спирали. Через сепаратор проходит охлаждающая жидкость сразу же после поступления в расширительный бачок. На внутренней стороне спиралей расположены отверстия, через которые отделенные от потока воды воздух и пар выпускаются в паровоздушное пространство в верхней части бачка.

Одним из требований к сепараторам, служащим для отделения пара и воздуха в расширительном бачке, является обеспечение малого сопротивления при прохождении потока воды. Опыт показал, что сепараторы, имеющие конструкцию, подобную показанной



Фиг. 47. «Уравнительный резервуар», выполненный в виде отдельного расширительного бачка:

1 — паровоздушный клапан; 2 — заливная горловина; 3 — «уравнительный резервуар»; 4 — дренажная трубка; 5 — верхний бачок радиатора; 6 — водяной насос; 7 — компенсационная трубка.



Фиг. 48. «Уравнительный резервуар», выполненный в верхнем бачке радиатора:

1 — перфорированная перегородка; 2 — «уравнительный резервуар»; 3 — компенсационная трубка; 4 — входной патрубок водяного насоса.

на фиг. 46, даже снижают потери давления по сравнению с бачками без сепараторов. Это происходит вследствие того, что такие сепараторы представляют собой часть замкнутой цепи циркуляции, и поэтому поток охлаждающей жидкости, попадая в расширительный бачок, сохраняет свою кинетическую энергию.

Устранение аэрации в системе охлаждения может быть также достигнуто за счет использования «уравнительного резервуара», т. е. расширительного бачка, включаемого как компенсационный контур [36]. В этом случае «уравнительный резервуар» может быть либо установлен отдельно и выше верхнего бачка радиатора [фиг. 47], либо является его дополнительной верхней частью, отделенной от основного объема специальной перфорированной перегородкой (фиг. 48). В обоих случаях достигается то, что поток охлаждающей жидкости поступает в основной бачок

радиатора ниже уровня находящейся в нем жидкости и поэтому вероятность перемешивания воды с находящимся там воздухом и паром уменьшается, однако схема, показанная на фиг. 48, менее эффективна. Каналы, соединяющие верхний бачок радиатора с уравнительным резервуаром, называются дренажными, а трубка, соединяющая уравнительный резервуар со входом в водяной насос, — компенсационной.

Условия протекания жидкости через уравнительный резервуар весьма спокойные (через него проходит около 5% всей циркулирующей в системе жидкости), и поэтому в нем обеспечивается надежное отделение воды и пара, до того как жидкость поступает к входному патрубку водяного насоса.

Рекомендуются следующие диаметры трубопроводов в цепи включения расширительных бачков [7]: для основного контура циркуляции — 20—60 мм, для дренажных трубок — 8—12 мм, для компенсационных трубок — 20—40 мм.

Следует отметить, что в настоящее время все чаще, особенно при последовательном включении расширительных бачков, в основном контуре применяются трубопроводы максимальных размеров. Это позволяет получить минимальные величины гидравлических сопротивлений.

3. Сравнение эффективности поверхностей охлаждения

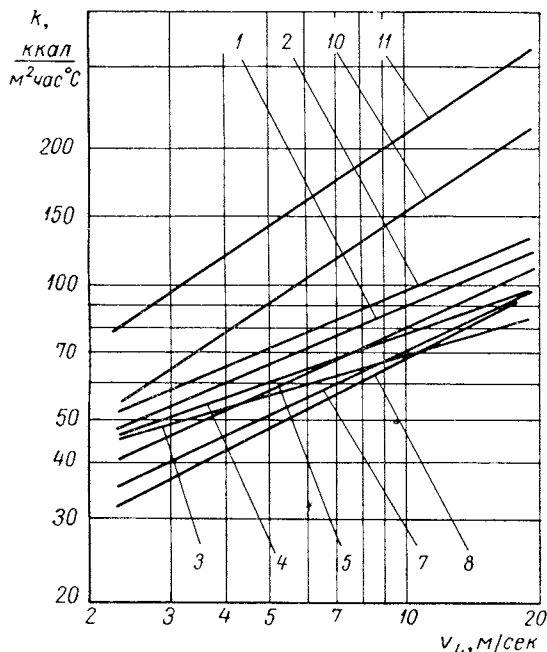
Как видно из предыдущего параграфа, практический интерес для конструкций алюминиевых радиаторов могут представить следующие типы поверхностей охлаждения (фиг. 14): трубчато-пластинчатая, трубчато-ленточная, трубчато-ребристая, волнистые пластины (трубки в полосе) и пластинчатая.

К числу алюминиевых радиаторов, имеющих такие поверхности охлаждения, относятся: радиаторы НК-120, японский радиатор для автомобильного конденсатора фирмы «Сумитомо», авиационные радиаторы, радиаторы секционного типа — опытные образцы для автомобиля «Москвич-407» и трактора «Кировец К-700». Кроме того, такие поверхности охлаждения имеют медные радиаторы автомобилей ЗИЛ-164, ГАЗ-М20, ГАЗ-М21, ЗИЛ-130, «Москвич-407» и трактора КД-35.

Как следует из американских источников [42], в радиаторах трубчато-пластинчатого и трубчато-ленточного типов из алюминия при условии увеличения вдвое толщины оребрения сохраняются значения коэффициентов теплопередачи, свойственные медным радиаторам; поэтому рассмотрение с этой точки зрения медных радиаторов представляет известный интерес, особенно в связи с тем, что в настоящее время еще не опубликованы данные испытаний алюминиевых паяных радиаторов трубчато-пластинчатого, трубчато-ленточного и пластинчатого типов. Выбранные нами для сравнения поверхности охлаждения серийных медных радиаторов, по-видимому, не являются оптимальными, но могут

служить типичными представителями каждого из типов применяемых поверхностей охлаждения. Естественно, что могут быть случаи, когда величины рассматриваемых показателей будут отличаться в ту или другую сторону.

Каждой из поверхностей охлаждения перечисленных радиаторов свойственны определенные величины параметров, характеризующих конструкцию поверхности охлаждения и ее тепловые



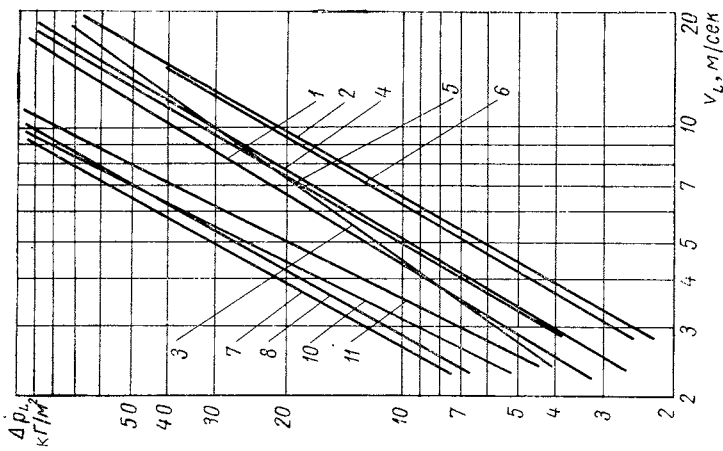
Фиг. 49. Коэффициенты теплопередачи некоторых поверхностей охлаждения автотракторных радиаторов.

и аэродинамические качества. В табл. 5 помещены указанные параметры, которые получены при обработке результатов испытаний радиаторов [13, 14, 15, 24, 41]. Перекрестные испытания части рассматриваемых поверхностей охлаждения показали идентичность результатов, что дает основание считать сравнимыми для большинства радиаторов приведенные в таблице показатели.

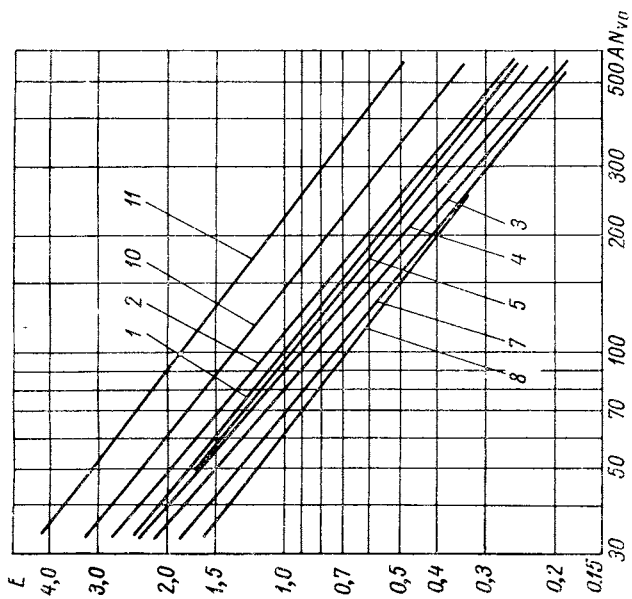
На фиг. 49 представлены коэффициенты теплопередачи наиболее характерных типов поверхностей охлаждения, рассмотренных в табл. 5. Характеристики получены при скорости воды в канале, равной 0,3 м/сек. Как видно из графика, наибольшая величина коэффициента теплопередачи у поверхности охлаждения, составленной из волнистых пластин, наименьшая — у трубчатобристой.

Основные показатели поверхностей охлаждения некоторых радиаторов

№ п/п	Марка машины (фирма-изготовитель) и страна	Тип поверхности охлаждения	Используе- мый материал	Фронт радиа- тора, м ²	Глубина, м	Коэффициенты ком- пактности			Коэффи- циент пере- дачи тепло- та	Коэффи- циент по воз- духу, Р	Характеристические коэффициенты			
						Φ , м ² /м ³	$\Phi_{др}$, м ² /м ²	$\Phi_{г}$, кг/м ³			n	c'	m	c ₁
1	ЗИЛ-164 (СССР)	Трубчато- пластинча- тый	Медь	0,282	0,091	552	50,2	614	3,25	0,74	0,43	33,3	1,65	0,9
2	ГАЗ-М20 (СССР)	Трубчато- пластинча- тый	Медь	0,200	0,058	640	36,8	630	4,82	0,81	0,42	36,7	1,78	0,35
3	ЗИЛ-164 (опытный) СССР	Трубчато- пластинча- тый	Алюминий	0,287	0,089	830	73,9	286	6,82	—	0,302	35,0	1,405	1,2
4	ЗИЛ-130 (СССР)	Трубчато- ленточный	Медь	0,398	0,057	1040	59,5	665	9,00	—	0,36	34,0	1,70	0,63
5	ГАЗ-М21 (СССР)	Трубчато- ленточный	Медь	0,189	0,064	837	53,5	548	5,55	—	0,46	28,0	1,72	0,64
6	Фирма «Суми- томо» (Япония)	Трубчато- ленточный	Алюминий	0,141	0,025	1010	25,3	—	—	0,735	—	—	1,72	0,43
7	КД-35 (СССР)	Трубчато- ленточный	Медь	0,295	0,1	374	37,4	—	—	—	0,47	24,3	1,82	1,71
8	Авиационный (СССР)	Трубчато- ребристый	Алюминий	—	0,075	653	40,8	—	12,00	0,735	0,51	21,5	1,78	1,55
9	Фирмы «Беер» и «Опель» (Гер- мания, 1942 г.)	Трубчато- ребристый	Алюминий	0,186	0,180	630	105,0	757	3,00	0,422	—	—	—	—
10	К-700 (опытный) (СССР)	Трубки в полсе	Алюминий	0,812	0,145	309	44,9	298	2,145	0,588	0,675	31,0	2,0	1,0
11	МЗМА-407 (опытный) (СССР)	Трубки в полсе	Алюминий	0,113	0,059	495	29,7	405	2,15	0,5	0,675	46,0	2,0	0,8
12	МЗМА-407 (СССР)	Пластинча- тый	Медь	0,134	0,05	690	34,5	509	—	0,79	0,53	26,5	1,78	0,327



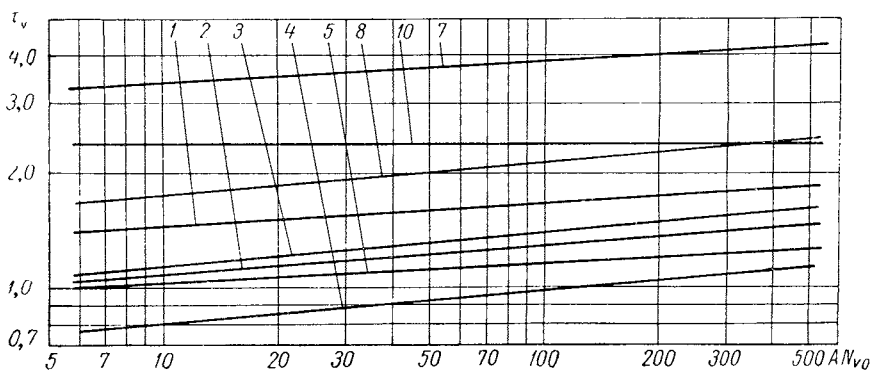
Фиг. 50. Аэродинамическое сопротивление некоторых поверхностей охлаждения автотракторных радиаторов.



Фиг. 51. Сравнение эффективности поверхностей охлаждения по критерию $E = f(AN_{v0})$.

На фиг. 50 приведено аэродинамическое сопротивление тех же поверхностей охлаждения. Наибольшим сопротивлением обладает поверхность охлаждения трубчато-ребристого типа, наименьшим — трубчато-пластинчатого.

Энергетическую оценку поверхностей охлаждения произведем по критерию, подсчитанному по формуле (49). Результаты сравнения приведены на фиг. 51. При одинаковых значениях AN_{v0} , т. е. при одинаковой мощности, затрачиваемой на передачу тепла через единицу поверхности охлаждения, наибольшую величину критерия E имеет поверхность охлаждения, выполненная в виде волнистых пластин, наименьшую — трубчато-ребристая.



Фиг. 52. Сравнение объемной эффективности поверхностей охлаждения по уравнению $\tau_v = f(AN_{v0})$.

Для поверхности охлаждения 11 $\tau_v = 1$.

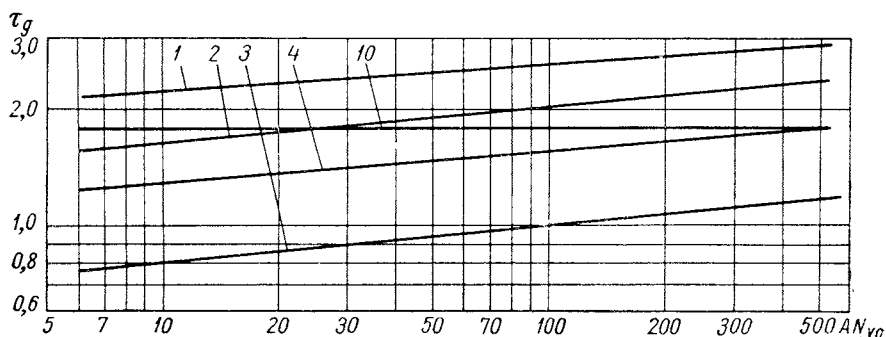
На фиг. 52 и 53 представлены зависимости $\tau_v = f(AN_{v0})$ и $\tau_g = f(AN_{v0})$ в сравнении с поверхностью охлаждения алюминиевого радиатора секционного типа автомобиля «Москвич-407», для которой принято: $\tau_v = \tau_g = 1,0$.

Из фиг. 52 можно видеть, что наиболее компактными являются поверхности охлаждения трубчато-ленточного типа и поверхности охлаждения, составленные из волнистых пластин; поверхности трубчато-пластинчатого и особенно трубчато-ребристого типов имеют более низкие показатели.

Весовые показатели (фиг. 53), как и следовало ожидать, более выгодные у алюминиевых радиаторов, чем у медных. В случае изготовления радиаторов из алюминия, по-видимому, наименьший вес будут иметь трубчато-ленточные сердцевин, затем — сердцевин трубчато-пластинчатые и составленные из волнистых пластин и, наконец, сердцевин трубчато-ребристого типа.

Следует отметить, что в настоящее время во многих странах мира проводятся интенсивные работы по повышению эффективности применяемых для радиаторов поверхностей охлаждения.

Эти работы чаще всего состоят в поисках новых и эффективных комбинаций расположения водяных каналов и оребрения, путей уменьшения эквивалентных диаметров и сокращения количества водяных каналов в сердцевине (для повышения скорости воды), уменьшения толщины оребрения и повышения турбулизации воздушного потока.



Фиг. 53. Сравнение весовой эффективности поверхностей охлаждения по уравнению $\tau_g = f(AN_{v0})$.

Для поверхности охлаждения $11\tau_g = 1$.

4. Унификация радиаторов

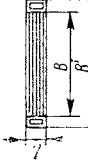
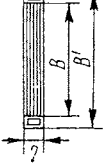
На современном этапе развития производства особое значение имеет вопрос широкой унификации изделий машиностроения, т. е. устранения многообразия в типоразмерах и марках продукции и сведения их к рациональному минимуму. При унификации одинаковые по своему функциональному назначению машины, узлы и детали, являясь производными от одной конструкции, выбранной за базу, образуют унифицированный ряд.




Унификация обеспечивает лучшее использование металла, значительное снижение затрат труда, способствует организации массового автоматизированного производства, является условием рационализации производственных процессов и узкой специализации производства, чаще всего как поддетальной и технологической специализации.

В связи с сужением номенклатуры изделий унификация упрощает их эксплуатацию, ремонт и снабжение запасными частями. При унификации сокращаются затраты на разработку конструкций машин и доводку опытных образцов, а также сокращается чертежная документация.

Необходимость унификации относится в равной степени и к радиаторам систем охлаждения двигателей, так как объем их производства в стране достигает в настоящее время весьма внушительной величины и значительно возрастет в будущем.

ПРИМЕРНАЯ СХЕМА РЯДА УНИФИЦИРОВАННЫХ СЕКЦИЙ
АЛЮМИНИЕВЫХ РАДИАТОРОВ СЕКЦИОННОГО ТИПА

Секция		Автомобили				Тракторы				Камбины	Стандартные автоматракторных двигателей
Тип	Основные габариты секции	Легков- вые	Грузовые	Авто- бусы	Класс	Сельскохозяй- ственные	Промышлен- ные	Колес- ные	Гусе- ничные		
I	 $B' = 480 \text{ мм}$ $B = 400 \text{ мм}$ $L = 60 \text{ мм}$	МЗМА-407	МЗМА-423	РАФ-978	0,6T	ХТЗ					
		М-410	МЗМА-430			ДТ-14					
II	 $B' = 600 \text{ мм}$ $B = 500 \text{ мм}$ $L = 70 \text{ мм}$	ГАЗ-М20			0,9T	ДТ-24					
		ГАЗ-М72	ГАЗ-63	ГАЗ-56		РАФ-977					
		ГАЗ-М21	УАЗ-450	УАЗ-451А	ПАЗ-651						
		УАЗ-69	ГАЗ-19	ГАЗ-57А	УАЗ-450В						
		ГАЗ-72	ГАЗ-52	УАЗ-451В	УАЗ-451В						

III	 <p> $B' = 650 \text{ мм}$ $B = 540 \text{ мм}$ $L = 91 \text{ мм}$ </p>	<p>ГАЗ-53 ЗИЛ-164 ЗИЛ-157 УралГАЗ-355М ЗИЛ-150</p>	<p>ГАЗ-66 ЗИЛ-157 ЗИЛ-150</p>	<p>ПАЗ-652 ПАЗ-672</p>	<p>1,4 - 2,0Т</p>	<p>МТЗ-62 МТЗ-7 МТЗ-30 МТЗ-52</p>	<p>КАП-35 Т-38</p>	<p>Т-40 Т-47</p>		<p>$N_e =$ 30 ÷ 70 л.с.</p>
IV	 <p> $B' = 720 \text{ мм}$ $B = 610 \text{ мм}$ $L = 91 \text{ мм}$ </p>	<p>ГАЗ-73 ЗИЛ-110 ЗИЛ-114</p>	<p>ЗИЛ-130 КАЗ-200 МАЗ-502 КрАЗ-214 УралГАЗ-375Т</p>	<p>ПАЗ-695 ЗИЛ-158 ЗИЛ-127 ЗИЛ-8</p>	<p>2,5 - 3,0Т 4,0Т</p>	<p>Т-30 Т-92 АТ-70 ТК-4 Т-4</p>	<p>АТ-54 АТ-75 Т-97</p>	<p>АТ-55 АТ-60 Т-97</p>	<p>САК-3 $N_e = 65 \text{ л.с.}$ САК-3 $N_e = 60 \text{ л.с.}$ РСМ-3 $N_e = 70 \text{ л.с.}$</p>	<p>$N_e =$ 50 ÷ 120 л.с.</p>
V	 <p> $B' = 1020 \text{ мм}$ $B = 860 \text{ мм}$ $L = 145 \text{ мм}$ </p>	<p>МАЗ-525 МАЗ-530</p>	<p>К-706 С-80 С-100</p>	<p>6,0Т 9,0Т 15Т</p>	<p>С-806 С-1005 Т-140 4Т9 АЭТ-250</p>					<p>$N_e =$ 90 ÷ 250 л.с.</p>

Выпускаемые промышленностью медные паяные радиаторы характерны тем, что имеют неразборную конструкцию и требуют для своего производства использования дефицитных металлов — меди и олова. В настоящее время количество типов радиаторов, находящихся на производстве, достигает нескольких десятков. Это производство рассеяно по арматурным цехам многих крупных автомобильных и тракторных заводов, а также ряда машиностроительных заводов.

Унификация радиаторов, имеющих неразборную конструкцию, может идти по двум направлениям.

1. Производится создание радиаторов ряда машин на базе одного типа сердцевины. В этом случае получение необходимой величины теплоотдачи достигается за счет подбора соответствующих характеристик вентилятора и водяного насоса. Примером такой унификации является создание на базе одного типа латунной паяной сердцевины радиаторов автомобилей ЗИЛ-150 и МАЗ-200, тракторов МТЗ и ряда стационарных установок.

2. Выполняется унификация отдельных элементов радиатора и, в первую очередь, таких, как трубки, горловины, крышки горловин и др. Утвержденная недавно отраслевая нормаль Н8019—61 предусматривает применение во всех создаваемых медных и латунных паяных радиаторах двух типоразмеров трубок. В этом случае сердцевина может иметь различные размеры по высоте, ширине и глубине, различные схемы расположения трубок в сердцевине и различное их количество. Проблема унификации в этом случае решается лишь частично, так как в связи с неразборностью конструкции в обращении останется большое количество типоразмеров радиаторов.

Проблема унификации радиаторов наиболее полно может быть решена при применении разборной конструкции алюминиевых радиаторов секционного типа и создании на ее базе типоразмерного ряда унифицированных секций.

В основу создаваемого типоразмерного ряда унифицированных секций должны быть положены следующие основные положения:

а) возможность полного удовлетворения потребности промышленности в алюминиевых радиаторах минимальным количеством типоразмеров унифицированных секций;

б) обеспечение высоких качественных показателей создаваемых радиаторов, а также потенциальных возможностей для улучшения этих показателей;

в) использование опыта отечественной и зарубежной науки и промышленности, а также опыта эксплуатации машин в различных дорожных и климатических условиях;

г) возможность установки алюминиевых радиаторов секционного типа на существующие и перспективные машины. Габаритные размеры и присоединительная арматура должны допускать их установку на соответствующий тип автомобиля, трактора,

комбайна и т. п. При этом должно быть предусмотрено удовлетворение потребности в запасных частях также и для машин, уже снятых с производства, но находящихся в эксплуатации в народном хозяйстве.

В качестве примера унификации радиаторов различного назначения может явиться схема типоразмерного ряда унифицированных секций алюминиевых радиаторов секционного типа, представленная на схеме I. Расчет теплоотдачи различных радиаторов был произведен в порядке, указанном в гл. I. Как видно из схемы, все отечественные автомобили, тракторы, комбайны и стационарные двигатели можно удовлетворить пятью типоразмерами секций, причем типоразмер III является временным и предназначен для замены медных паяных радиаторов типа ЗИЛ-164. В этом случае унификация радиаторов будет иметь межотраслевой характер.

Основные данные унифицированных секций типоразмерного ряда приведены в табл. 6.

Принцип унификации радиаторов на базе секции одного типоразмера был опробован в 1960—1961 гг. Из секций типоразмера I

Таблица 6

Основные данные унифицированных секций типоразмерного ряда

Наименование характеристики	Типоразмеры секций				
	I	II	III	IV	V
Габариты секции, мм:					
общая длина	480	600	650	720	1020
активная длина	400	500	540	610	860
активная глубина	59	70	91	91	145
Число водяных каналов	5	6	8	8	13
Шаг между каналами, мм	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
Диаметр водяных каналов, мм:					
внешний	4	4	4	4,5	5
внутренний	3,4	3,4	3,4	3,7	4
Поверхность охлаждения по воздуху, м ²	0,0557	0,0819	0,115	0,134	0,32
Живое сечение по воде, см ²	0,472	0,546	0,727	0,86	1,26
Площадь окна пропускания, см ²	14,0	22,9	31,2	31,2	83,8
Материал активной части	Алюминиевый сплав АМц				
Вес (расчетный), г	50	80	100	140	460

были созданы радиаторы для автомобилей МЗМА, а также для тракторов ДТ-14, ДТ-20 и самоходного шасси ДСШ-14. Радиаторы отличались друг от друга только количеством секций, их расположением в сердцевине (вертикальное или горизонтальное) и арматурой. Все указанные типы алюминиевых радиаторов имели теплоотдачу не ниже серийных медных радиаторов, что достигалось подбором соответствующего количества секций. Радиаторы секционного типа устанавливались на машины взамен серийных без каких бы то ни было переделок машин. Следует учесть, что в ряде случаев эффективность радиаторов можно было повысить соответствующим подбором характеристик вентиляторов и водяного насоса. Так как полные данные по системам охлаждения некоторых машин, показанных на схеме I, отсутствовали, их расположение в типоразмерном ряде дано условно.

Для народного хозяйства нашей страны производство унифицированных секций целесообразно сосредоточить на нескольких специализированных заводах, которые будут поставлять свою продукцию автомобильным, тракторным и другим заводам, ремонтному производству, автохозяйствам, в торговую сеть и т. п. Такая организация производства унифицированных секций позволит разгрузить автомобильные и тракторные заводы от производства радиаторов. Участие заводов в их изготовлении сведется к сборке охлаждающей сердцевины радиатора из готовых секций и к изготовлению арматуры: боковин, патрубков, бачков и др.

ГЛАВА III

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ РАДИАТОРОВ

1. Технология — важнейший фактор внедрения алюминиевых радиаторов

В настоящее время производство радиаторов систем охлаждения автотракторных двигателей носит массовый характер, причем в нашей стране и передовых капиталистических странах оно все больше приобретает вид специализированного производства.

В таких условиях технология является одним из важнейших факторов при постановке на производство алюминиевых радиаторов любой конструкции. В связи с резко отличными технологическими качествами меди и алюминия при производстве алюминиевых радиаторов невозможно механическое заимствование технологии изготовления медных радиаторов. Необходимо проведение большого комплекса работ как по отработке конструкции алюминиевого радиатора, так и по отработке соответствующей технологии. При этом весьма существенным является вопрос взаимной увязки конструкции радиатора и технология его изготовления.

Как показывает отечественная и зарубежная практика создания опытных образцов, выпуска опытных партий алюминиевых радиаторов и особенно практика организации серийного производства алюминиевых радиаторов, указанные выше работы требуют много сил и весьма длительного времени.

При создании алюминиевого радиатора основное внимание обращается на конструкцию и технологию изготовления наиболее ответственной и трудоемкой части — охлаждающей сердцевины.

Это обусловлено в первую очередь тем, что при изготовлении алюминиевого радиатора основной трудностью является надежное соединение между собой деталей, образующих охлаждающую поверхность. В большинстве конструкций медных радиаторов эти

детали, входящие в прямую и косвенную поверхность охлаждения, обычно имеют малую толщину, а конструкция всей сердцевины является настолько ажурной и состоит из такого большого количества отдельных деталей, расположенных часто в труднодоступных местах, что применяемые производственные методы изготовления радиаторов должны обеспечивать одновременное и надежное соединение всех деталей сердцевины между собой.

Найти такой универсальный метод соединения тонкостенных алюминиевых деталей для условий массового производства представляет значительные трудности; поэтому большое внимание уделяется созданию таких конструкций алюминиевых радиаторов, в которых соединение деталей охлаждающей поверхности сердцевины можно заменить применением новых технологических приемов. Это чаще всего удается осуществить расчленением сердцевины радиатора на отдельные элементы, каждый из которых изготавливается по новой технологии. Например, в конструкции трубчато-ребристого радиатора прямая и косвенная поверхность охлаждения может быть получена применением одного технологического процесса — накатки ребер на толстостенной трубе.

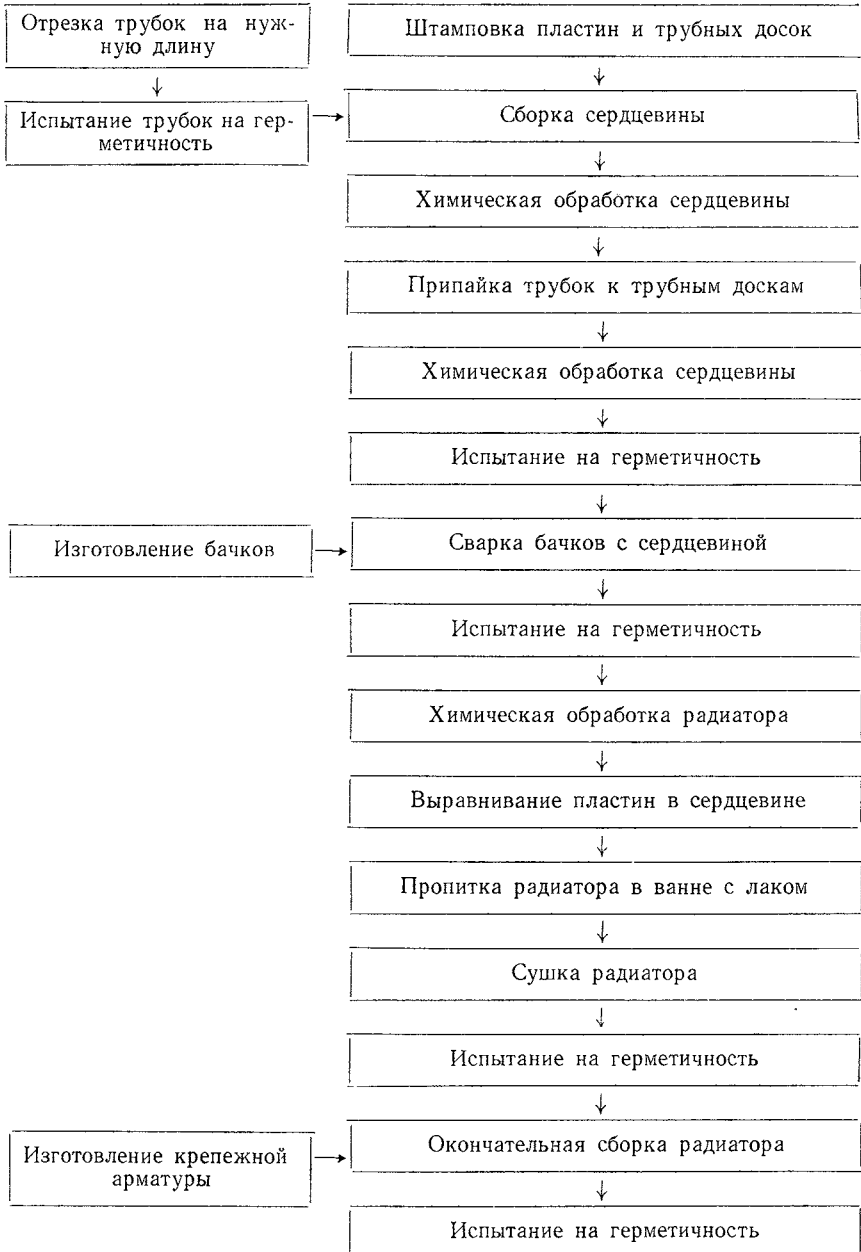
Для технологов, работающих над созданием алюминиевых радиаторов, часто наиболее привлекательной кажется технология изготовления алюминиевых радиаторов спеканием, которая, хотя бы в самых общих чертах, но повторяет привычную и ставшую традиционной технологию изготовления медных радиаторов. Однако, как показывает опыт [45], экономическая целесообразность такого решения остается весьма сомнительной в связи с необходимостью существенных затрат на переоборудование производства, высокой стоимостью исходных материалов, значительной вредностью производства и весьма большими трудностями при ремонте радиаторов в эксплуатационных условиях.

Технология изготовления алюминиевого радиатора, даже имеющего сходную с медным конструкцию, обладает большим количеством специфических особенностей, связанных, в первую очередь, с применением алюминия как конструкционного материала. В качестве примера приведена схема II. Из схемы видно, какое большое место занимают процессы подготовки к соединению элементов радиатора и последующей за соединением химической обработки.

В то же время технологические процессы изготовления оригинальных конструкций алюминиевых радиаторов (схемы III, IV и V) часто значительно проще и в перспективе при соответствующей доработке могут успешно конкурировать с применяемыми в настоящее время технологическими процессами изготовления медных радиаторов.

Ниже приводится более подробное описание наиболее интересных технологических приемов, использовавшихся при изготовлении различных конструкций алюминиевых радиаторов. Это

**СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ
АЛЮМИНИЕВОГО РАДИАТОРА ФИРМЫ «ФИМАГ»**



**СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ
АЛЮМИНИЕВОГО РАДИАТОРА ФИРМ «БЕЕР» и «ОПЕЛЬ»**

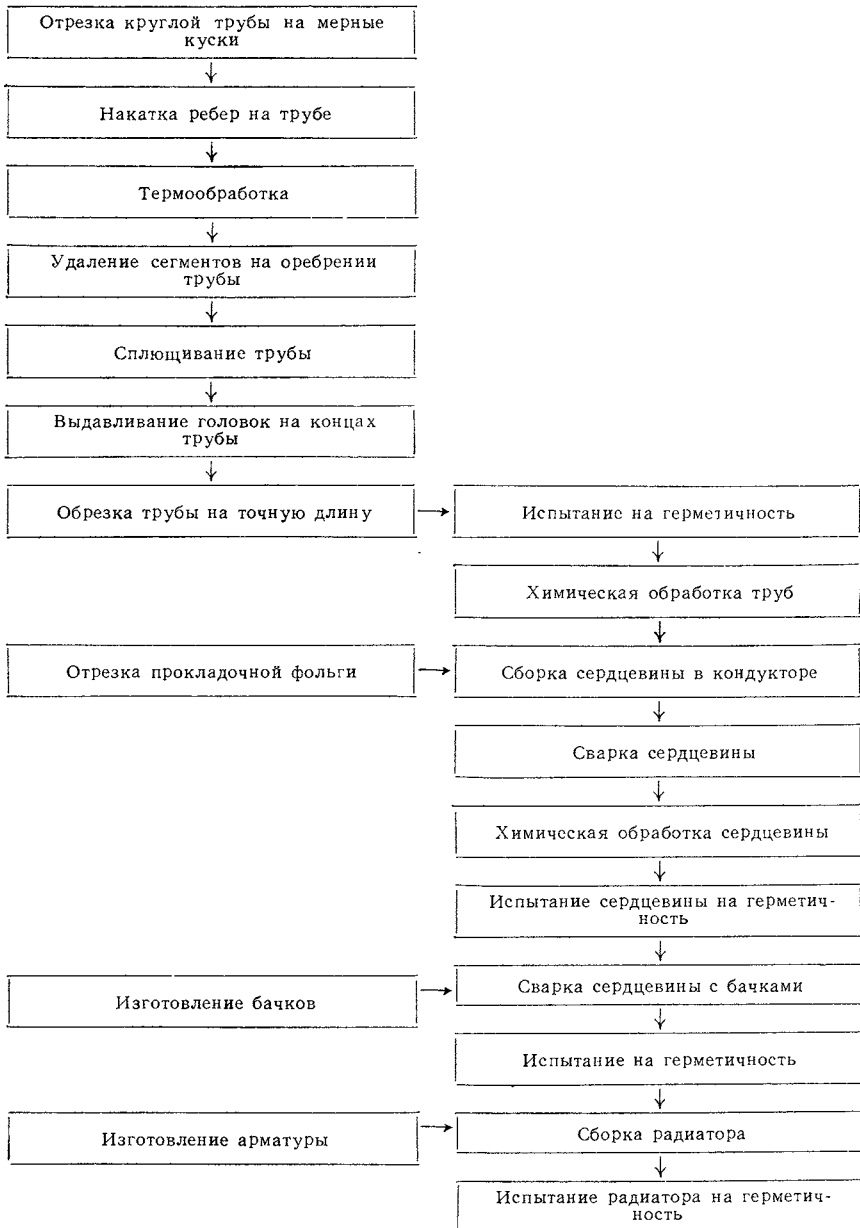
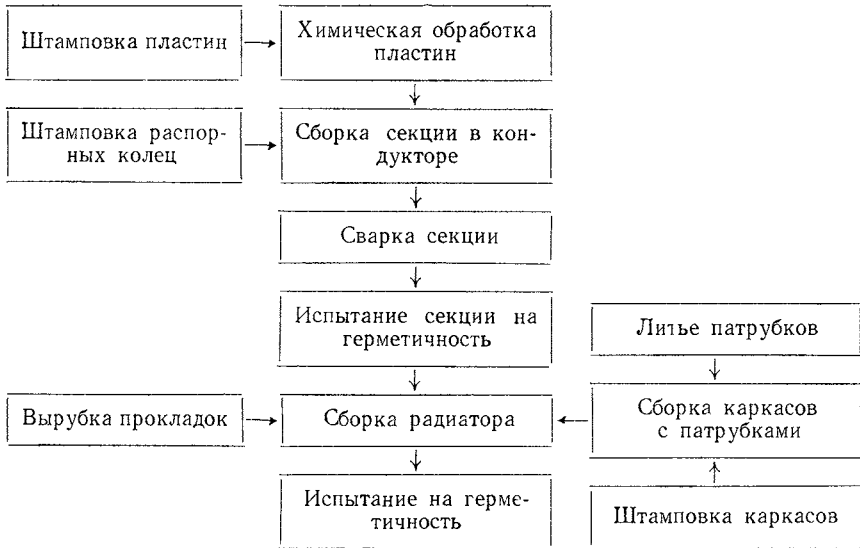


СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО РАДИАТОРА СЕКЦИОННОГО ТИПА С ПРИМЕНЕНИЕМ СВАРКИ



относится как к изготовлению сердцевин, так и к соединению сердцевин или их элементов с бачками и арматурой радиаторов.

В этой главе не рассматривается технология изготовления арматуры алюминиевых радиаторов, если при этом применяются такие общеизвестные технологические операции, как различные виды литья, штамповка и механическая обработка. В равной степени не рассматриваются технологические операции, касающиеся изготовления элементов охлаждающей поверхности алюминиевых радиаторов: штамповка пластин, механическая обработка (резка) трубок и радиаторной ленты; зиговка ленты и т. п. Эти операции в принципе ничем не отличаются от операций изготовления медных радиаторов и подробно рассмотрены в соответствующей литературе.

2. Пайка алюминиевых радиаторов

Пайка является традиционным и наиболее широко применяемым технологическим процессом в производстве медных радиаторов автотракторного типа. При пайке соединение металлических деталей радиатора производится припоем, т. е. легкоплавким расплавленным металлом или сплавом. Припой после остывания и затвердевания прочно скрепляет между собой соединяемые детали. В процессе пайки, в отличие от сварки, поверхности соединяемых деталей хотя и подогреваются, но находятся в твердом состоянии.

СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО РАДИАТОРА СЕКЦИОННОГО ТИПА ИЗ МОНОЛИТНОЙ РАДИАТОРНОЙ ЛЕНТЫ



При пайке применяются флюсы, которые служат для растворения и удаления окислов с поверхности металла, защиты от окисления подготовленных поверхностей и для улучшения смачиваемости поверхностей припоем.

При производстве радиаторов используется пайка погружением в ванну с припоем или спекание в печи. При сборке радиатора и устранении брака применяется пайка паяльником и февкой (горелкой).

Пайка условно подразделяется на пайку мягкими припоями с температурой плавления ниже 400°C и пайку твердыми припоями с температурой плавления выше 500°C .

Второй вид пайки дает значительно более прочные соединения.

Пайка мягкими припоями. Так как при производстве медных радиаторов применяются мягкие припои на оловянной основе с температурой плавления $235\text{--}277^{\circ}\text{C}$, то в настоящее время некоторые фирмы считают [42], что идеальным решением проблемы

внедрения алюминиевого радиатора явилась бы разработка соответствующего метода пайки алюминия мягкими припоями. Однако такого решения до сих пор не получено, а использование существующих в радиаторном производстве методов пайки для изготовления алюминиевых радиаторов совершенно не пригодно.

Поэтому, как уже говорилось выше, в США было изготовлено значительное количество комбинированных радиаторов, в которых использовались латунные трубки, имеющие толщину стенки около 0,15 мм, и алюминиевые пластины, покрытые с двух сторон другим металлом (медью, цинком или никелем). Изготовление таких радиаторов при наличии алюминиевой ленты, покрытой другим металлом, не требовало больших затрат на подготовку производства, так как могло выполняться на существующем оборудовании.

Одна из основных проблем, которую необходимо было решить, состояла в том, чтобы найти удовлетворительный припой, который имел бы низкую температуру плавления, хорошо смачивал как алюминий, так и латунь; не вызывал коррозии деталей радиатора, а также таких вредных явлений, как ослабление и хрупкость латунных трубок.

В табл. 7 [42] приведены данные по некоторым типам припоев, которые могут быть использованы для пайки комбинированных радиаторов. Эти припои выполнены на свинцовой, цинковой и оловянной основе.

Как показал опыт, в наибольшей мере удовлетворяют требованиям припои на цинковой основе (содержание цинка свыше 70%): они не вызывают коррозии, дешевы и недефицитны. Их отрицательное качество состоит в высокой температуре плавления, которая составляет 380—421° С.

Припои, выполненные на основе олова и свинца, обладают более низкой температурой плавления, но при их применении происходит интенсивное коррозионное разрушение алюминия.

Флюсы, используемые при изготовлении комбинированных радиаторов, должны удалять окисную пленку с поверхности алюминия и способствовать получению хорошего соединения между алюминием и припоем. Они должны поставляться в виде жидкости, что облегчает их использование. Желательно, чтобы флюсы растворялись в воде или органическом растворителе. После окончания процесса пайки флюсы должны полностью улетучиваться или образовывать осадок, который не вызывает коррозии или легко удаляется промывкой водой.

Флюсы (хлористый цинк), обычно применяемые при производстве медных радиаторов, не удовлетворяют этим требованиям. Поэтому американскими фирмами была выполнена большая работа по подбору соответствующих флюсов, которые обеспечили бы прочность конструкции комбинированного радиатора. Было установлено, что флюсы, являющиеся органическими растворами,

Характеристика припоев для радиаторов с алюминиевыми пластинами и латунными трубками

Свойство	Состав мягкого припоя, %					Pb — 70 Sn — 30
	Zn — 100	Zn — 95 Al — 5	Zn — 90 Cd — 10	Zn — 70 Sn — 30	Zn — 70 Sn — 30	
Удельный вес, г/см ³	7,15	6,62	7,26	7,20	9,72	
Температура плавления, °С	421	382	399	377	260	
Оценка смачиваемости	Удовлетворительная	Удовлетворительная	Хорошая	Хорошая	Отличная	
Растворимость припоем латуни	Средняя	Средняя	Незначительная	Незначительная	Малая	
Прочность паяного соединения	Крепкое	Крепкое	Крепкое	Крепкое	Слабое	
Сравнительная оценка коррозионной стойкости *:	A	A	B	B	Г	
комбинированная сердцевина	A	A	B	B	A	
медно-латунная сердцевина	29	27	58	72	100	
Сравнение стоимости (в % к стоимости ПОС-30 **)						

* A — принимается за высшую величину.

** Для одинаковой толщины покрытий (по ценам США).

благоприятны в части коррозионного воздействия, в то время как смеси неорганических солей вызывают коррозию.

Составы флюсов, использованных фирмами для изготовления комбинированных радиаторов, не сообщаются; однако известно, что, в частности, были использованы 20-процентные водные растворы смесей гидразина и их органические производные. По другим данным [31], флюсы содержат цинковые, алюминиевые и оловянистые галоиды, а также фтористый натрий.

После пайки комбинированная сердцевина подвергается химической поверхностной обработке, которая имеет целью удаление следов флюсов и повышение коррозионной стойкости алюминиевых пластин. Обработка состоит в том, что спаянную сердцевину на некоторое время погружают в ванну с дихромовокислой солью или фосфатом. Как показал опыт, коррозионная стойкость сердцевины после такой обработки повышается на 80%.

Технология пайки сердцевины алюминиево-латунных радиаторов мало чем отличается от процесса спекания сердцевины медных радиаторов; однако требуется более тщательный контроль производственных операций и, в частности, время и температура процесса должны регулироваться более точно, так как могут появиться разрушения латунных трубок.

В зависимости от состава припоя и габаритов остова время процесса спекания на одном из американских заводов колеблется от 1 до 4 мин и происходит при температуре от 370 до 430° С. При этом [31] возникает необходимость удалять ядовитые газы и дым, интенсивно образующиеся вследствие применения флюсов. Для обеспечения нормальной работы требуется серьезная модернизация печей, в которых производится спекание радиаторов.

В табл. 8 приведены материалы сердцевины радиаторов и технологические процессы пайки, применявшиеся фирмой «Алкоа» при изготовлении комбинированных радиаторов.

Пайка твердыми припоями. Цельноалюминиевые радиаторы трубчато-пластинчатого и трубчато-ленточного типов изготавливаются зарубежными фирмами пайкой твердыми припоями. Основное отличие пайки алюминия твердым припоем от пайки мягким припоем следующее: 1) более высокая температура процесса пайки (свыше 500° С) и 2) наплавным металлом служат не сплавы других металлов (цинка, олова, свинца и т. п.), а алюминиевый сплав, имеющий более низкую температуру плавления, чем алюминий или его сплавы, используемые в качестве основного конструкционного материала.

Процесс пайки алюминия твердыми припоями получил свое развитие в производстве радиаторов за последние два-три десятилетия и в настоящее время широко применяется для изготовления авиационных алюминиевых теплообменников.

**Материалы и технологические процессы фирмы «Алкоа»
для изготовления комбинированных радиаторов**

Конструкция сердцевины	Материал		Используемый припой	Процесс пайки
	трубки	оребрения		
Трубчато-пластинчатая	Латунь, покрытая припоем	Сплав 3003	90% Zn — 10% Cd или 70% Zn — 30% Sn	Пайка в печи
	То же	Сплав 3003, плакированный медью	70% Pb — 30% Sn	
Трубчато-ленточная	Медь или латунь, покрытая припоем	То же	То же	Окунанием

Перед началом второй мировой войны фирма «Фимаг» разработала технологию пайки алюминия твердым припоем для соединения трубок, имевших толщину стенки 0,5 мм, с трубными досками и использовала эту технологию во время войны для производства авиационных радиаторов трубчато-пластинчатого типа [34].

При пайке использовался припой следующего состава: алюминий — 74,8%, кремний — 9,2%, олово — 9%, кадмий — 3%, медь — 3% и никель — 1%. Температура плавления припоя — около 540° С. Приготовленный для пайки радиаторов припой имел вид порошка с размерами частиц около 1 мм. Шов, образованный этим припоем, обладал высокой коррозионной стойкостью.

При пайке использовались порошкообразные флюсы, имевшие состав, представленный в табл. 9.

Из этих трех флюсов наиболее эффективным был флюс А, который в основном и применялся фирмой. К концу войны в связи с нехваткой сырья (лития) фирма применяла флюсы Б и В.

Процесс пайки происходил в следующей последовательности. Производилась сборка сердцевины с трубными досками так, что концы трубок выступали на 2 мм. Выполнялась предварительная подготовка поверхностей к пайке, которая состояла из травления поверхностей в течение нескольких секунд в щелочной ванне, подогретой до 60—70° С; промывки их в холодной воде; погружения на несколько секунд в азотную кислоту, разведенную водой в пропорции 1 : 1 и повторной промывки их в воде.

После этого сердцевина помещалась в печь, а на трубную доску

**Составы флюсов, использовавшиеся фирмой «Фимаг»
для пайки алюминиевых радиаторов**

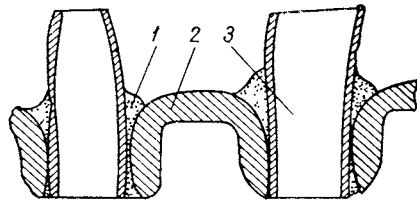
Наименование компонентов	Содержание компонентов, %		
	Флюс А	Флюс Б	Флюс В
Хлористый литий	25	15	15
Алюминиевофтористоводородный натрий	15	—	—
Хлористый натрий	60	20	30
Хлористый калий	—	50	43
Фтористый натрий	—	7	—
Фтористый алюминий	—	2	—
Хлористый цинк	—	5	—
Хлористый аммоний	—	1	—
Бромистый натрий	—	—	6
Фтористоалюминиевый натрий	—	—	6

предварительно насыпался слой припоя толщиной приблизительно 2 мм. Когда части сердцевины прогревались до температуры 100—150° С, на доску насыпался слой флюса толщиной около 3 мм. Производился равномерный подогрев соединяемых деталей пламенем до тех пор, пока не начал плавиться сначала флюс, а затем и припой. Топливом для получения пламени служил генераторный газ, вырабатываемый из бурого угля. Для удаления остатков флюса после пайки спаянные поверхности подвергались обработке в щелочной ванне и азотной кислоте и тщательно промывались в воде.

Сечение через полученное таким образом соединение трубок

с трубной доской алюминиевого радиатора представлено на фиг. 54.

Как уже отмечалось выше, в годы второй мировой войны обработку процессов пайки твердыми припоями применительно к алюминиевым радиаторам выполняла фирма «Царгес», которая изготовила некоторое количество радиаторов трубчато-ленточного типа, используя алюминиевую ленту, покрытую сплавом, имеющим более



Фиг. 54. Паяное соединение в алюминиевом радиаторе фирмы «Фимаг»:

1 — паяный шов; 2 — трубная доска;
3 — трубка.

низкую температуру плавления. Этот сплав выполнял роль припоя при процессе пайки.

Выполнялись также экспериментальные работы по использованию этого процесса пайки в конструкции трубчато-пластинчатого радиатора фирмы «Фимаг» взамен операции пропитки сердцевины лаком с алюминиевым наполнителем.

В послевоенные годы процесс пайки твердыми припоями продолжал отрабатываться ведущими американскими, английскими и немецкими фирмами для изготовления алюминиевых радиаторов автомобильного типа.

Фирма «Алкоа» применила для этих целей тонколистовой плакированный материал «Алкоа № 100» и «Алкоа № 11». Основа этого материала выполнена из алюминиевого сплава 3003 (типа АМц), односторонняя плакировка — твердым припоем марки 4343 (типа силумина с содержанием кремния около 7%). Материал «Алкоа № 100» имеет кроме этого плакировку с другой стороны основы алюминиевым сплавом, содержащим до 2,5% цинка. Эта плакировка выполняется с целью обеспечить протекторную защиту материала основы от коррозии. Толщина плакировки составляет 10% от суммарной толщины материала.

При изготовлении радиатора алюминиевые трубки и пластины собираются в специальной раме и подготавливаются к пайке. Собранный таким образом сердцевина тщательно обезжиривается, предварительно подогревается до температуры 480—520° С и находится при этой температуре в течение 20 мин.

После этого сердцевина радиатора погружается в ванну с расплавленным соевым флюсом при температуре 593—605° С и выдерживается там около 1 мин. В ванне детали радиатора прогреваются до температуры пайки, одновременно происходит удаление окисной пленки с поверхности алюминия и его спекание. Здесь большое значение имеет точное регулирование температуры и времени процесса; это связано с тем, что температуры плавления флюсов, припоев и основного металла являются близкими (соответственно 510—538° С, 588—616° С и 649° С) и при отклонениях режима получается неисправимый брак.

После пайки сердцевина выдерживается около 20 мин при температуре, несколько более высокой, чем температура плавления флюсов, что необходимо для его удаления. После охлаждения сердцевина окончательно очищается от остатков флюса промывкой, в связи с тем, что флюс может быстро вызвать коррозию.

Фирма «Империал Кемикл Индастриес» патентует технологию сборки радиатора (см. стр. 78), которая состоит в пайке радиатора в соляной ванне при температуре 614° С. Перед погружением в ванну все детали радиатора собираются в зажимном приспособлении и предварительно подогреваются до температуры 575° С.

Фирмы не сообщают составов флюсов, используемых при пайке радиаторов твердым припоем. Известно лишь, что флюсы имеют

высокую стоимость, и при применяемой технологии невозвратимые потери флюсов достигают значительной величины.

По сведениям, сообщенным японской печатью [51], основой флюсов, используемых для пайки алюминиевых радиаторов, является парааминосалицил, в котором растворены другие специальные компоненты.

Для изготовления радиаторов была испробована также алюминиевая лента, плакированная чистым цинком. В результате установлено, что процесс плакировки является весьма дорогим и ненадежным.

В настоящее время проводятся работы по пайке (спеканию) алюминиевых радиаторов в печах. Этот вид пайки имеет преимущества перед пайкой окунанием, так как процесс идет при более низкой температуре и нет необходимости в таком тщательном контроле за временем процесса и температурой соединения [42].

Данные по материалам и технологическим процессам, использованным фирмой «Алкоа» при изготовлении цельноалюминиевых радиаторов, приведены в табл. 10.

Таблица 10

Материалы и технологические процессы фирмы «Алкоа» для изготовления цельноалюминиевых радиаторов

Конструкция сердцевин	Материал		Используемый припой	Процесс пайки
	трубки	оробрения		
Трубчато-пластинчатая	Алкоа № 100	Сплав 3003	Твердый припой 4343	Окунанием
	Алкоа № 11			Пайка в печи
Трубчато-ленточная	Плакированный сплав 3003	Плакированный сплав 3003 или сплав 3003	Цинк или 95% Zn—5% Al	Окунанием

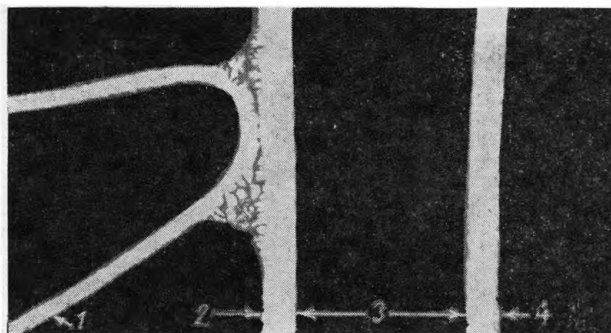
На фиг. 55 представлено паяное соединение трубки и гофрированной ленты в цельноалюминиевом радиаторе фирмы «Алкоа».

Бачки и другая арматура радиатора соединяются с сердцевинной или аргонной сваркой или пайкой твердым припоем, причем последняя в этом случае выполняется одновременно с пайкой сердцевин.

Процесс пайки твердыми припоями отрабатывается применительно к водовоздушным радиаторам уже более двух десятилетий крупнейшими фирмами, несмотря на это он до сих пор не свободен от ряда существенных недостатков. Этими недостатками являются:

1) высокая стоимость плакированных материалов, особенно имеющих малую толщину, в связи с дороговизной и недостаточной надежностью процесса плакировки;

- 2) высокая стоимость флюсов и их невозвратимые потери в значительных количествах в процессе выполнения пайки, что существенно повышает себестоимость радиатора;
- 3) вредность производства;
- 4) невозможность использования оборудования, применявшегося при пайке медных радиаторов, что при организации произ-



Фиг. 55. Паяное соединение трубки и гофрированной ленты в цельноалюминиевом радиаторе фирмы «Алкоа»:
 1 — гофрированная лента; 2 — покрытие (плакировка) твердым припоем; 3 — трубка; 4 — плакированное покрытие.

водства такого типа алюминиевых радиаторов приведет к значительным капитальным затратам;

- 5) большие трудности исправления брака на изготовленной сердцевине неразборного типа.

3. Сварка алюминиевых радиаторов

При сварке деталей соединение их осуществляется за счет местного расплавления материала и использования сил молекулярного сцепления. Алюминиевые сплавы по своим физико-химическим свойствам существенно отличаются от сплавов других металлов, что требует при выполнении сварки применения ряда специфических приемов. Однако, с другой стороны, имеется возможность осуществлять такие высокопроизводительные методы сварки, как сварку давлением и т. п.

Высокие тепло- и электропроводность, теплоемкость и скрытая теплота плавления алюминиевых сплавов затрудняют проведение процесса сварки, требуя применения мощного и концентрированного источника тепла. Низкая температура плавления алюминия и его сплавов и в то же время наличие на их поверхности тонкой, прочной и тугоплавкой (температура плавления — 2030° С) пленки окислов Al_2O_3 также затрудняет сварку и требует выпол-

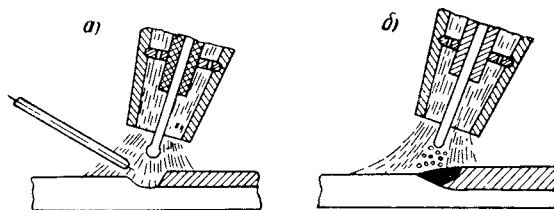
нения операций по удалению пленки непосредственно в процессе сварки или перед ее началом.

Присутствие в алюминиевых сплавах различных примесей и, в первую очередь, таких, как титан (до 0,2—0,5%), улучшает их свариваемость.

Применительно к тонкостенным деталям, из которых изготавливается алюминиевый радиатор, процесс сварки весьма чувствителен к отклонениям режима сварки от заданного, что требует четкости в работе оборудования и тщательной подготовки свариваемых деталей.

Ниже рассматриваются некоторые виды сварки, которые могут применяться при изготовлении элементов охлаждающей сердцевины и арматуры алюминиевых радиаторов.

Аргонно-дуговая сварка. Аргонно-дуговая сварка применяется для изготовления деталей арматуры радиатора и в ряде случаев может быть использована для соединения деталей сердцевины.



Фиг. 56. Схемы аргонно-дуговой сварки: *а* — неплавящимся электродом; *б* — плавящимся электродом.

Суть процесса аргонно-дуговой сварки состоит в том, что зона сварки окружается инертным газом — аргоном, который в целях получения качественного шва не должен содержать более 0,3% примесей (аргон I состава содержит $N_2 \leq 0,25\%$; $O_2 \leq 0,05\%$; Ag — остальное). Аргон не принимает участия в реакциях, происходящих в сварочной ванне, а защищает от окисления расплавленный металл и электрод. Окисная пленка на поверхности свариваемых деталей разрушается эмиссией электронов.

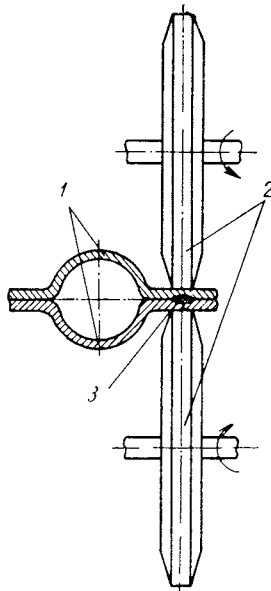
Существуют две разновидности аргонно-дуговой сварки [17]: сварка неплавящимся и плавящимся электродами.

При сварке неплавящимся электродом (фиг. 56, *а*) аргон подается по шлангу к специальной горелке, в которой закреплен электрод, выполненный из вольфрама. Горелка имеет керамический наконечник. Подача присадочного материала и горелки производится вручную или автоматически.

Для сварки используются специальные установки, например УДАР-300, управление подачей аргона в которой производится нажатием кнопки на горелке. Установка работает на переменном токе.

При сварке на этой установке бачков радиатора из сплава АМц толщиной 1,0 мм может применяться следующий режим: сварочный ток 80—90 а, расход аргона 7—8 л/мин, длина выступающего из сопла электрода 3—5 мм, длина дуги 0,5—0,7 мм. Присадочный материал — прутки из АМц толщиной 1,5 мм.

При сварке обычно сначала выполняются более длинные швы, затем более короткие. Сварка начинается и кончается на технологических планках.



Фиг. 57. Схема сварного соединения секции алюминиевого радиатора, выполняемого на роликовой машине.

Аргано-дуговая сварка вольфрамовым электродом сплавов типа АМц и АМг дает очень хорошие результаты: сварной шов имеет блестящую гладкую поверхность, его прочность составляет 95—100% от прочности основного металла.

Для сварки плавящимся электродом (фиг. 56, б) характерна большая скорость процесса. При сварке используется постоянный ток обратной полярности, полученный от сварочного генератора.

Сварка производится при помощи пистолета, причем подача аргона и электродной проволоки осуществляется автоматически нажимом кнопки. Прочность полученного шва составляет 90—95% от прочности основного металла.

Недостатком аргано-дуговой сварки является значительный расход и относительная дороговизна чистого аргона; поэтому она может найти применение для соединения деталей радиаторов, имеющих ограниченную длину сварных швов — бачки, детали арматуры и т. п.

Контактная электросварка. При изготовлении образцов алюминиевых радиаторов секционного типа может быть использована контактная электросварка: роликовая (шовная) и точечная. С помощью сварки производится соединение герметичным швом по периметру секции и прочным швом в ее средней части между каналами. Шовная контактная сварка может также найти применение при изготовлении бачков и арматуры радиаторов.

При контактной сварке электрический ток подводится к соединяемым листам металла 1 (фиг. 57) медными электродами, имеющими вид стержней (при точечной сварке) или роликов 2 (при шовной сварке). Для плотного контакта свариваемых листов на электродах обеспечивается определенное давление. Электрический сварочный ток включается на такой промежуток времени, чтобы металл в некотором чечевицеобразном объеме 3 был доведен до

температуры плавления или несколько превышал ее. После выключения тока и охлаждения металла внутри сваренных листов получается так называемая сварная точка.

Во Всесоюзном научно-исследовательском институте электросварочного оборудования в 1957—1960 гг. была проведена работа по сварке алюминиевых радиаторов секционного типа. При этом выполнялась точечная и роликовая сварка пластин, штампованных из алюминиевой ленты АД и АМц толщиной 0,3—0,5 мм.

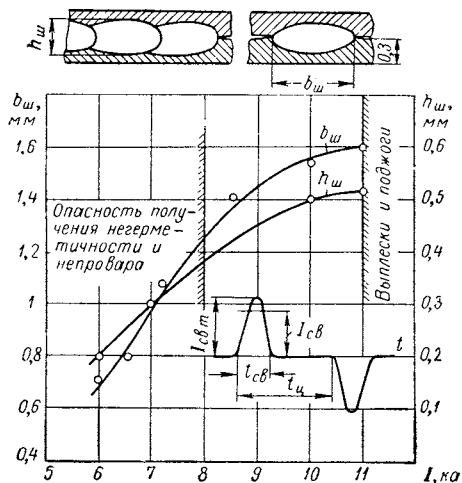
Сварке предшествовали: обезжиривание пластин, их травление в ванне с щелочным раствором при температуре 65—70° С и пассивирование в растворе следующего состава: 25% концентрированной ортофосфорной кислоты, 75% воды и 0,1—0,3 г хромпика на 100 мл раствора; время пассивирования 12—15 мин, температура ванны 20—25° С.

В результате такой химической обработки с поверхности пластин удалялась окисная пленка и образовывалась временная защитная пленка, предохраняющая поверхность пластин от окисления в течение нескольких часов, предшествующих сварке.

Секции радиаторов сваривались на шовной машине мощностью 25 кВА с приводом на два ролика. Источник питания машины имел специальную схему, позволяющую получать кратковременные импульсы сварочного тока (фиг. 58). Режим сварки на роликовой машине пластин АМц толщиной 0,3 + 0,3 мм: давление роликов 41 кг; диаметр роликов 150 мм; ширина отпечатка роликов 2,0 мм; амплитуда сварочного тока 10 кА; время протекания одного импульса тока 0,0075 сек; время паузы между импульсами тока 0,0225 сек; скорость сварки 1,0 м/мин; количество точек на 1 см длины шва 20.

При таком режиме обеспечивались достаточная прочность и герметичность шва и отсутствие непроваров и поджогов поверхности.

Качество сварных швов секций во многом зависело от точности соблюдения технологического процесса химической обработки



Фиг. 58. Зависимость ширины и высоты шва от величины действующего сварного тока при роликовой сварке секций алюминиевых радиаторов.

пластин и поддержания постоянства режима сварки: формы кривой сварочного тока и его величины, времени сварки, давления электродов и чистоты их рабочей поверхности.

Как показал опыт, на пути внедрения в производство контактной сварки секций алюминиевого радиатора имеется ряд существенных технических трудностей. Для преодоления их необходимо:

а) повышение производительности сварки путем увеличения скорости процесса и создания специального оборудования, обеспечивающего сварку секций несколькими парами роликов;

б) осуществление непрерывной зачистки роликов, так как загрязнение их рабочей поверхности приводит к нарушению процесса сварки (прожогом ленты) и загрязнению сварочного шва вкраплениями меди от роликов, что при эксплуатации вызывает коррозию секций.

Кроме того, для массового производства радиаторных секций потребуются весьма значительные энергопотребности.

Для изготовления деталей арматуры алюминиевых радиаторов контактную электросварку можно считать перспективным видом сварки там, где свариваемые детали имеют большую толщину и меньшую длину швов.

Холодная прессовая сварка. Метод холодной прессовой сварки основан на том, что при весьма тесном сближении поверхностей двух металлических деталей может возникнуть взаимодействие между свободными электронами и ионизированными атомами; при этом в зоне такого сближения может образоваться прочное цельнометаллическое соединение [4]. Для осуществления соединения необходимо, чтобы в близкий контакт вошел чистый металл, свободный от оксидных и жировых пленок. Как показали опыты, алюминий является одним из металлов, легко поддающимся холодной прессовой сварке.

В 1960—1961 гг. Всесоюзным научно-исследовательским институтом электросварочного оборудования были проведены работы по холодной прессовой сварке элементов алюминиевых радиаторов секционного типа. Образцы секций радиатора отопителя кабины демонстрировались в 1961 г. на ВДНХ.

Секции радиатора отопителя изготавливались из двух пластин, полученных штамповкой алюминиевой ленты А1 или АМц толщиной 0,5—1,0 мм. Подготовка пластин к сварке заключалась в механической зачистке соприкасающихся поверхностей вращающейся круглой стальной щеткой. Щетка имела диаметр 200 мм, скорость вращения — 2800 об/мин, диаметр проволок — 0,3 мм.

Сварка производилась в специальном штампе, установленном на гидравлическом прессе. Схема образования сварной точки при холодной прессовой сварке двух листов металла представлена на фиг. 59.

Подготовленные к сварке пластины секции 1 и 2 помещаются между двумя пуансонами 3, каждый из которых состоит из рабочего

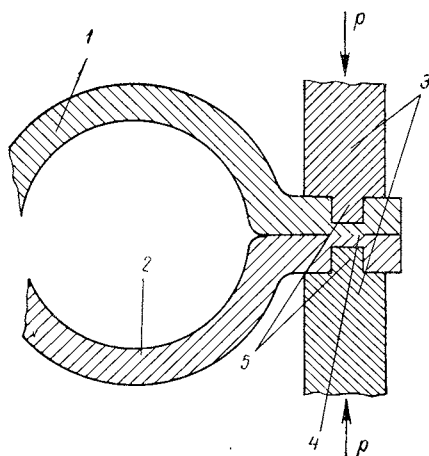
выступа 5 и опорной части. При приложении соответствующего усилия p рабочие выступы вдавливаются в металл, осуществляя требуемую для его сварки пластическую деформацию, величина которой определяется глубиной вдавливания рабочих выступов в металл. При этом в зоне соприкосновения деталей между рабочими выступами пуансонов образуется сварная точка 4. При сварке алюминия углубление пуансонов для получения прочного соединения должно составлять не менее 70% толщины металла. Как показал опыт, скорость вдавливания пуансонов в металл при холодной сварке существенного влияния на прочность соединения не оказывает и вполне удовлетворительные результаты получаются при ударном приложении давления.

Штамп, на котором производилась сварка секции отопителя, обеспечивал с одного хода пресса образование герметичного сварного шва по периметру секции и восемнадцати прямоугольных точек в средней части секции между водяными каналами.

Штамп (фиг. 60 и 61) состоял из двух матриц 1, через внутренние вырезы которых проходили два главных пуансона 2, снабженные кольцевыми рабочими выступами для образования герметичного сварного шва по периметру секции. Пуансоны располагались в пуансонодержателях 3. Внутри главных пуансонов имелось по три специальных выреза, через которые проходили вспомогательные пуансоны 11. Эти пуансоны имели по шесть рабочих выступов для образования сварных точек между каналами секции.

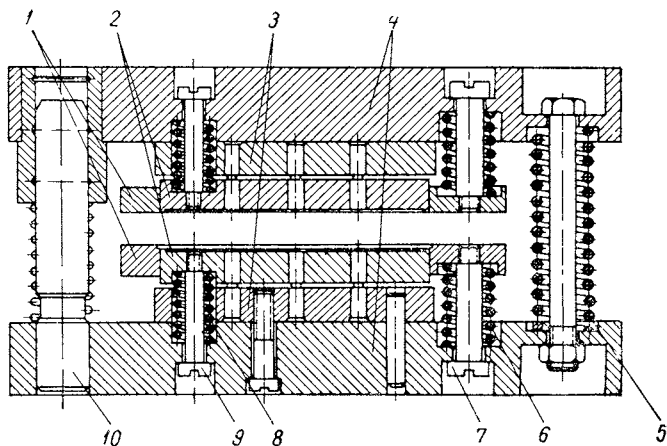
Для обеспечения правильного относительного расположения верхней и нижней половин штампа и для предотвращения перекосов при сварке служили направляющие колонки 10. Каждая из матриц 1 и каждый из главных пуансонов 2 были соединены с опорными плитами 4 при помощи шести винтов 7 и 9, имевших пружины 6 и 8. Эти пружины обеспечивают такое положение рабочих выступов главных и вспомогательных пуансонов, что в свободном состоянии штампа они оказываются утопленными в своих вырезах. Четыре пружины 5 поддерживают штамп в раскрытом состоянии.

Под действием усилия пресса при сварке плиты штампа сближаются, сжимая пружины 5. Когда матрицы 1 сомкнутся, начинают



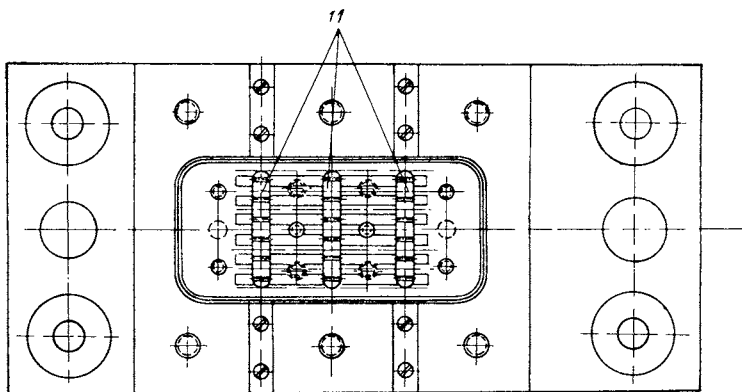
Фиг. 59. Схема образования сварной точки при холодной прессовой сварке.

сжиматься пружины *б* и рабочие выступы главных пуансонов вдавливаются в металл помещенных между ними пластин секции. В это время сжимаются пружины *8* и рабочие выступы вспомога-



Фиг. 60. Разрез штампа для холодной прессовой сварки секции отопителя.

тельных пуансонов *11* тоже вдавливаются в металл, осуществляя сварку. После снятия давления пресса все пружины освобож-



Фиг. 61. Вид сверху на нижнюю половину штампа для холодной прессовой сварки секции отопителя.

даются, рабочие выступы пуансонов вытягиваются из металла, опорные плиты расходятся и сваренная секция вынимается из пресса.

Режим сварки: деформация металла 75%; давление на 1 мм сварочного шва 45 кг; ширина рабочих выступов пуансонов, осу-

шествяющих сварку по периметру — у основания 1,4 мм, у вершины 1,2 мм; ширина рабочих выступов пуансонов, осуществляющих точечную сварку — у основания 1,2 мм, у вершины 1,0 мм.

Холодная прессовая сварка имеет весьма большую производительность, практически равную производительности применяемого для сварки пресса, и может очень легко вписаться в автоматическую линию изготовления секций отопителя. Технологический процесс изготовления секции отопителя весьма прост (схема VI).

Схема VI

СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЕКЦИИ ОТОПИТЕЛЯ



Для применения холодной прессовой сварки при изготовлении секций радиаторов систем охлаждения автотракторных двигателей необходима разработка соответствующего рабочего оборудования: прессов и штампов, обеспечивающих высокую точность и равномерность прижатия свариваемых пластин секций по всей сопрягаемой поверхности. Следует учесть, что эти секции имеют значительную длину при малой толщине применяемого металла. Необходимо также обратить внимание на повышение стойкости используемых для сварки штампов.

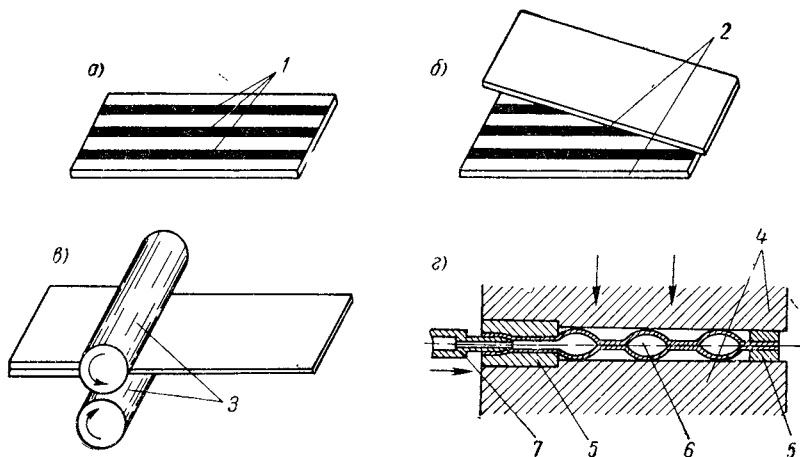
В связи с наличием указанных затруднений процесс холодной прессовой сварки может рассматриваться как перспективный в первую очередь для изготовления секций отопителя, имеющих малый размер.

Сварка прокаткой по печатной схеме. Сварка прокаткой по печатной схеме является разновидностью холодной прессовой сварки и имеет аналогичную физическую сущность процесса. Этот вид сварки в послевоенные годы начал широко применяться при изготовлении элементов испарителей в изделиях холодильной промышленности в нашей стране и за рубежом. В зарубежной печати этот вид сварки известен под названием метода Эвидаль или метода Ролбонд [47].

В настоящее время область применения сварки прокаткой все больше расширяется в связи с его высокой производительностью, высоким качеством получаемых изделий и возможностью создания автоматизированных технологических линий. В частности, данный

процесс может быть с успехом использован для получения многоканальной радиаторной ленты, которая применяется для изготовления секций алюминиевых радиаторов секционного типа. В этом случае наиболее целесообразным является рулонный способ получения радиаторной ленты.

Сущность процесса сварки прокаткой по печатной схеме состоит в следующем.



Фиг. 62. Схема изготовления сваркой прокаткой по печатной схеме многоканальной радиаторной ленты: *а* — нанесение противосварочной пасты; *б* — складывание заготовок; *в* — прокатка заготовок; *г* — раздутие каналов.

Подготавливаются две заготовки, которые имеют приблизительно в четыре раза большую толщину и в четыре раза меньшую длину, чем изготавливаемая деталь.

С одной стороны каждой из заготовок снимается окисная пленка, что чаще всего делается металлическими щетками. Обработанные заготовки имеют шероховатую поверхность. Могут быть использованы также и химические методы удаления окисной пленки.

Далее на очищенную поверхность одной из заготовок наносится рисунок 1 (фиг. 62) с помощью противосварочной пасты. При изготовлении испарителей холодильников применяется противосварочная паста следующего состава: поливиниловый спирт 30 г, дистиллированная вода 200 мл, тальк 110 г, глицерин 40 мл.

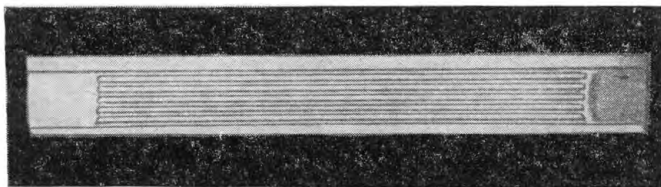
Во Франции для изготовления радиаторной ленты запатентована противосварочная паста, представляющая собой смесь графита и силиката калия или натрия (см. стр. 77).

После сушки противосварочной пасты заготовки 2 складываются вместе зачищенными поверхностями внутрь и прокатываются в двухвалковом стане 3 с обжатием, равным 75%.

В процессе прокатки деталь и внутренний рисунок удлиняются в четыре раза и происходит прочная и герметичная сварка по всей поверхности, кроме мест, где нанесена противосварочная паста.

В ряде случаев [47] процесс прокатки комбинируется из двух операций: горячая прокатка при температуре 450—480° С, при которой происходит соединение заготовок, и холодная прокатка соединенных пластин на точный размер.

В процессе прокатки металл получает значительный наклеп, поэтому следующей операцией является отжиг. При отжиге улучшаются пластические свойства изготовленной детали и благодаря диффузии повышается качество сварного соединения.



Фиг. 63. Заготовка секции, полученная сваркой прокаткой по печатной схеме.

Для раздутия сваренную пластину помещают между двумя гладкими плитами 4 и укрепляют с помощью закладок 5, высота которых одновременно определяет расстояние между плитами и высоту раздутых каналов 6. В подведенный к краю пластины конец напечатанного рисунка вводится раздувочный мундштук — игла 7, через который в систему каналов пластины подается жидкость или воздух под давлением до 120 атм. В результате этого на несваренных местах пластины возникают каналы, расположение которых в пластине зависит от нанесенного противосварочной пастой рисунка, а форма поперечного сечения — от расстояния между плитами прессы и давления раздутия.

В случае использования оборудования, допускающего сокращение ширины ленты при раздутии, возможно получение каналов, имеющих любую форму сечения: плоскоовальную, овальную и круглую.

Сварка прокаткой по печатной схеме также может быть использована непосредственно для изготовления секций алюминиевых радиаторов секционного типа (см. фиг. 30). В отличие от изготовления бесконечной многоканальной ленты в этом случае в рисунке, наносимом на алюминиевую ленту, предусматриваются полости для проушин, как это видно из фиг. 63.

При изготовлении подобных заготовок также более прогрессивным является рулонный метод; однако здесь в наносимом на ленту непрерывном рисунке должны последовательно чередоваться

зоны, образующие активную часть секций и их сдвоенные проушины.

В связи с наличием в ленте при такой конструкции секций полостей, образующих проушины, при раздутии секции образование водяных каналов может происходить в основном только за счет удлинения материала стенок каналов и поэтому получение круглого сечения каналов в этом случае невозможно. Как показывает опыт, получаемые для материала АМц соотношения d/S_3 обычно лежат в пределах 0,4—0,5.

При последующей обработке заготовки секции выполняются: прорубка отверстий проушин, введение в проушины распорных колец и заделка торцовых концов секций, что может быть произведено сваркой (контактной, аргоно-дуговой и т. п.) или просто вальцовкой. Недостатком описываемого метода изготовления секций с полостями для проушин является трудность обеспечения жестких допусков по длине активной части секции и поэтому более предпочтительной является конструкция секции, состоящая из радиаторной ленты и отдельно изготовленных проушин.

Использование сварки прокаткой по печатной схеме при соответствующей доработке метода позволит создать поточную линию по производству секций алюминиевых радиаторов с высокой степенью механизации и автоматизации, что должно обеспечить низкую стоимость готовой продукции.

Наиболее рациональной является такая организация производства радиаторов, когда нераздутая радиаторная лента будет поставляться металлургическими предприятиями в виде рулонов на специализированные радиаторные заводы. Эти заводы будут производить ее соответствующую обработку: резку, раздутие, штамповку (или литье) проушин и сборку унифицированных секций.

Горячая прессовая сварка. В годы второй мировой войны фирма «Опель» разработала и применила технологию изготовления элементов алюминиевых радиаторов, служащих для промежуточного охлаждения воздуха, поступающего из нагнетателя в цилиндры мощных двигателей [34].

Радиатор состоял из плоских пластин, образующих элементы, которые затем собирались в виде сердцевины и приваривались вручную к трубным доскам. Для изготовления пластин радиатора использовался алюминиевый сплав марки «Пантол» следующего состава: медь 0,7%, магний 0,7—1,2%; марганец 0,6—1,0%, кремний 0,7—1,2% и алюминий — остальное. По мнению фирмы, этот сплав обладал исключительно высокими антикоррозионными свойствами.

Сварка пластин в элемент производилась в штампе при температуре 420° С и давлении в зоне шва 220 кг/мм². При этих условиях происходило сплавление пластин по периметру элемента.

Подогрев штампа осуществлялся с помощью специальных горелок, расположенных вокруг штампа. Степень нагрева тщательно

контролировалась и устанавливалась с помощью терморегулятора. Верхняя плита штампа охлаждалась водой для предотвращения передачи тепла к ползуну пресса.

Для сварки элементов алюминиевого радиатора использовался 800-тонный пресс с двойным кривошипом.

Особенностью конструкции штампа являлось также устройство, обеспечивающее удержание свариваемых пластин в относительно неподвижном положении в течение определенной величины хода пресса, с тем, чтобы за это время произошли нагрев и сварка пластин. Это устройство включало установку нижней части штампа на специальных пружинах или на резино-воздушных подушках.

Непосредственно после сварки здесь же в штампе производилось придание окончательной формы элементу посредством пропускания через сжатый штампом элемент воздуха под давлением 20 кг/см^2 . Впуск воздуха начинался вблизи нижней точки хода пресса и продолжался в течение одной четверти его хода.

Перед сваркой производилась резка ленты на пластины в устройстве, автоматически обеспечивающем их заданную длину, и зачистка свариваемых поверхностей с помощью проволочных щеток. Вместо обработки щетками могла быть использована химическая обработка. Другая сторона пластин покрывалась специальным веществом, препятствующим сварке элемента со штампом.

Такой вид горячей прессовой сварки может представить значительный интерес для создания высокопроизводительной линии по изготовлению секций алюминиевых радиаторов.

4. Другие методы изготовления алюминиевых радиаторов

Помимо пайки и сварки при изготовлении алюминиевых радиаторов находят применение и другие технологические процессы; причем некоторые из них при соответствующей доработке дают возможность организовать автоматическое и специализированное производство алюминиевых радиаторов на новой технологической основе и получить существенные технико-экономические преимущества.

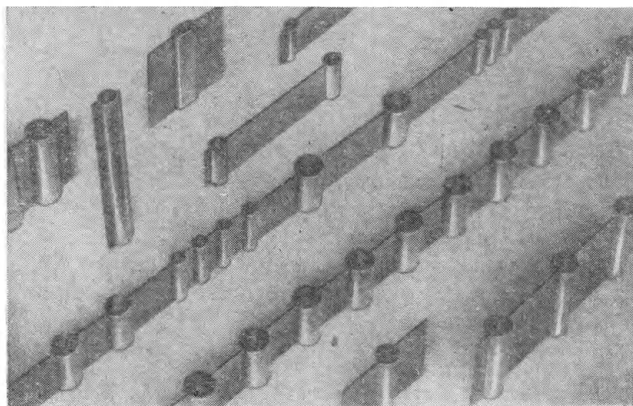
Внедрение новой технологии будет целесообразно при использовании оригинальных конструкций алюминиевых радиаторов, в которые заложены новые перспективные принципы.

К таким видам технологии изготовления относятся: прокатка литых заготовок, вытяжка из расплава, накатка и др.

Прокатка литых заготовок. Английская фирма «Империл Кемикл Индастриес» за последние годы разработала новую технологию изготовления продукции, названной ею трубки в полосе и представляющей собой трубчатые каналы, выполненные за одно целое с листом или полосой из цветного металла и в частности из алюминия (фиг. 64) [49].

Трубки в полосе рекомендуются фирмой для использования в автомобильных радиаторах и радиаторах для различных двигателей внутреннего сгорания, в автомобильных отопителях и в установках для кондиционирования воздуха, а также в целом ряде теплообменных устройств другого назначения.

Основное отличие технологии промышленного производства данных трубок в полосе состоит в том, что здесь не применяется сварка или какой-либо другой процесс соединения двух листов.



Фиг. 64. Отрезки трубчатых профилей различной формы производства фирмы «Империал Кемикл Индастриес» (Англия).

Изготовление производится из одного куска металла — слитка, причем положение и размеры трубчатых каналов определяются при отливке слитка. Перед заливкой металла в металлической форме тщательно размещаются прутки из инертного материала и металл заливается вокруг них (фиг. 65). Эти прутки остаются в отливке до окончания процесса изготовления трубок в полосе. Состав материала прутков не сообщается, однако известно, что этот материал не обладает коррозионным воздействием на основной металл полосы и, если необходимо, то легко может быть полностью удален из каналов после получения готовой трубки в полосе.

Полученный слиток подвергается прокатке в направлении расположения прутков, в результате чего получается полоса металла, которая содержит в себе несколько тонких (менее 0,025 мм) прослоек инертного материала и может иметь длину более 150 м. Диапазон изделий по толщине большой, однако отмечается, что процесс является особенно эффективным, когда требуются тонкостенные изделия. По состоянию на 1960 г. минимальная толщина выпускаемых полос в зависимости от вида используемого материала составляла 0,3—0,6 мм.

Трубчатые каналы могут выполняться круглого, овального или подобного сечения и получаются в полосе путем создания внутреннего давления в каждой прослойке. Трубки могут иметь различные размеры и располагаться в полосе в любом желаемом порядке (фиг. 64); при этом толщина стенки трубки в каждом случае остается равной половине толщины ребра или перемычки между трубками.

Во время раздутия трубчатых каналов ширина перемычек между ними остается постоянной, но общая ширина полосы уменьшается. Для трубок, имеющих круглое сечение, уменьшение ширины полосы Δl приблизительно составляет

$$\Delta l \approx \frac{z l}{2}, \quad (70)$$

где z — количество трубчатых каналов в полосе;

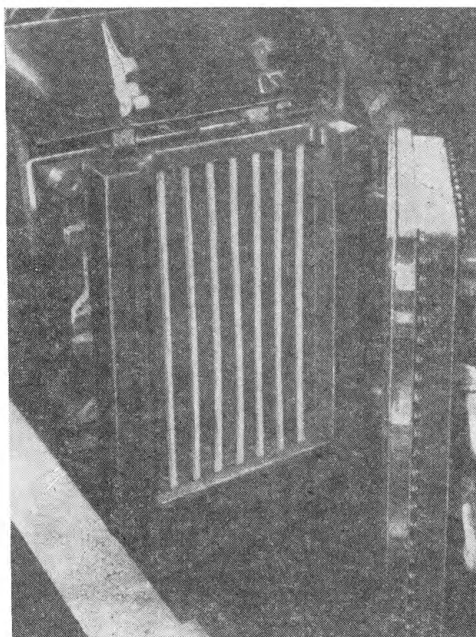
d — диаметр трубчатого канала.

Давление раздутия для таких алюминиевых трубок в полосе зависит от свойств применяемого материала, размеров канала и толщины стенок и составляет 20—100 кг/см^2 .

При использовании давлений меньших, чем это не необходимо для получения каналов, имеющих круглое сечение, каналы будут принимать овальную форму.

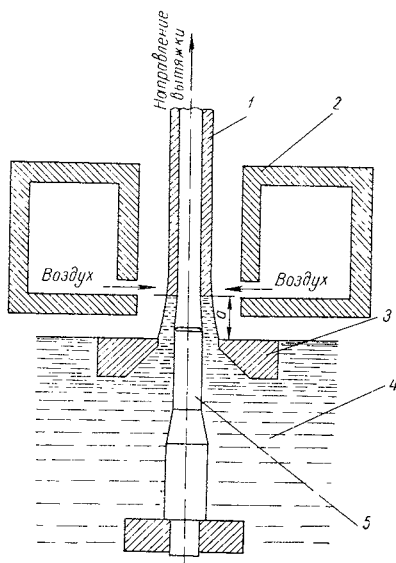
Раздутие трубок представляет собой простую операцию, осуществляемую посредством нагнетания внутрь полосы сжатого воздуха или жидкости на оборудовании, которое обеспечивает свободу движения по ширине полосы, необходимое для компенсации сокращения ширины.

Механическая прочность трубок в полосе, изготовленных указанным методом, может быть приравнена к прочности цельнотянутых трубок таких же размеров, при этом каждая трубка естественно подвергается испытанию давлением в момент раздутия.



Фиг. 65. Размещение прутков из инертного материала в металлической форме в процессе изготовления литой заготовки-слитка.

На первой стадии развития производства операции раздутия трубок в полосе производились на металлургическом заводе; однако теперь эти операции выполняются потребителем на месте, что снижает стоимость упаковки и перевозок, а также уменьшает порчу продукции при транспортировке. В этом случае заготовки трубок в полосе поставляются в виде плоской полосы большой длины (до 150 м), свернутой в рулоны.



Фиг. 66. Схема получения радиаторной ленты по методу Степанова А. В.:

1 — готовая трубка; 2 — холодильник; 3 — поплавок; 4 — расплав; 5 — стержень поплавка

алюминия помещается пластинка из материала, инертного по отношению к расплаву. В пластинке имеется прорез — щель, форма и размеры ее находятся в соответствии с изделием, которое желательно получить. Эта пластинка названа Степановым поплавком-формообразователем. Через щель формообразователя в жидкий металл опускается затравка, соответствующая форме щели. К затравке пристает расплавленный металл.

Если сообщить затравке движение вверх, то приставший металл будет за ней тянуться за счет сил поверхностного натяжения. При попадании в область более низкой температуры над поверхностью расплава металл будет застывать.

В целях ускорения процесса кристаллизации над поплавком-формообразователем помещаются холодильники, через которые производится обдув изделия сжатым воздухом. Можно так подобрать режим охлаждения и скорость движения затвердевающего

Фирма отмечает, что стоимость трубок в полосе ниже, чем стоимость эквивалентных конструкций, выполненных из отдельных трубок и листового материала, т. е. обычно применяющихся в настоящее время в теплообменных аппаратах различного назначения.

Изготовление многоканальной радиаторной ленты вытяжкой из расплава. В 1962 г. Ленинградским Кировским заводом была изготовлена партия алюминиевых радиаторов секционного типа для тракторов «Кировец». Радиаторы были собраны из алюминиевой многоканальной радиаторной ленты, полученной вытяжкой из расплава по методу Степанова А. В. (фиг. 66) [25].

На горизонтальную поверхность расплавленного металла—

металла, что из жидкости будет непрерывно вытягиваться изделие нужной формы.

Изготовление радиаторной ленты производилось на опытной установке полунепрерывного действия, т. е. установке, позволяющей получать вытяжкой трубчатый профиль определенной длины. Установка включала в себя: электрическую тигельную печь с терморегулятором, станину с тянущим механизмом, формообразующее устройство с системой охлаждения, обеспечивающей подачу воздуха и воды, и пульта управления.

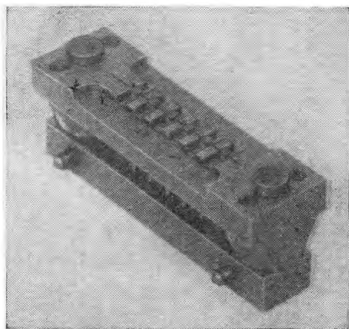
Одна из конструкций поплавок-формообразователя, использовавшегося для получения шестиканальной радиаторной ленты, представлена на фиг. 67; материал — серый чугун.

Условия формирования изделий подробно рассмотрены в работе А. В. Степанова [25]. При заданной ширине щели поплавок-формообразователя толщина стенки и форма профиля радиаторной ленты зависят от соотношения скорости вытягивания, температуры расплава, уровня расплава относительно верхней плоскости полавка и эффективности охлаждения, косвенно оцениваемой давлением воздуха в подводящей магистрали.

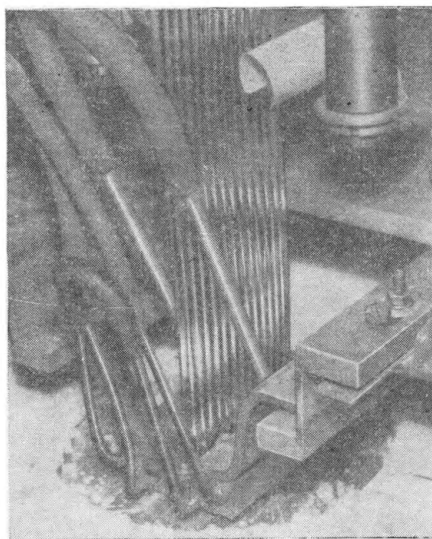
Один из режимов, используемый при получении радиаторной ленты, был определен опытным путем: температура расплава $727\text{--}732^\circ\text{C}$, скорость вытяжки — $5\text{--}8\text{ м/ч}$, давление воздуха — $0,7\text{--}1,0\text{ кг/см}^2$, уровень расплава совпадал с верхней плоскостью полавка. Рабочий момент получения радиаторной ленты из расплава показан на фиг. 68. Готовая радиаторная лента, изготовленная для алюминиевого радиатора трактора «Кировец» вытяжкой из расплава по методу Степанова А. В., представлена на фиг. 69.

Метод Степанова применительно к изготовлению радиаторной ленты для алюминиевого радиатора является перспективным, так как позволяет получить внешние и внутренние поверхности высокого качества, что обеспечивает их повышенную коррозионную стойкость. Непрерывность процесса получения профиля дает возможность организовать автоматизированный технологический процесс.

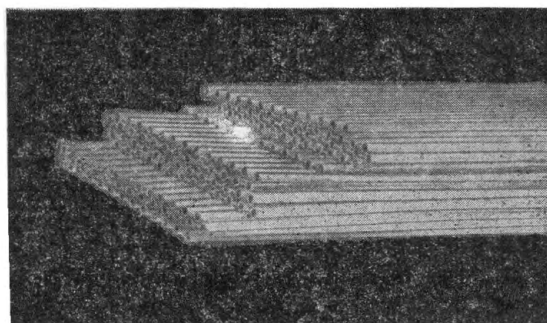
Очень существенным является также низкая стоимость исходного материала для получения ленты — расплава алюминия и почти полное отсутствие потерь металла в отходы.



Фиг. 67. Поплавок-формообразователь для получения шестиканальной радиаторной ленты непосредственно из расплава по методу Степанова А. В.



Фиг. 68. Рабочий момент получения радиаторной ленты непосредственно из расплава.



Фиг. 69. Радиаторная лента, изготовленная для алюминиевого радиатора трактора «Кировец» вытяжкой из расплава по методу Степанова А. В.

Однако в связи с новизной процесса необходимо проведение значительного комплекса работ по улучшению качества радиаторной ленты (особенно в направлении получения более высоких пластических свойств материала стенок водяных каналов), ликвидации разностенности, а также существенного повышения производительности процесса. Последнее может быть решено, например, путем создания многоручьевых установок непрерывного действия. На фиг. 70 приведена принципиальная схема одной из таких установок. Установка имеет пять легкомонтируемых секций вытяжного механизма, объединенного с формообразователем, чем обеспечивается автономное получение радиаторной ленты для каждого ручья, а следовательно, допускается независимая остановка, замена и пуск каждой секции установки. Вытяжной механизм каждой секции состоит из трех пар роликов, установленных в общем каркасе и имеющих привод от электромотора. Секции вытяжного механизма установлены над выработочной печью, питаемой металлом от плавильной печи через заливной желоб и миксер со стопорным дозирующим устройством.

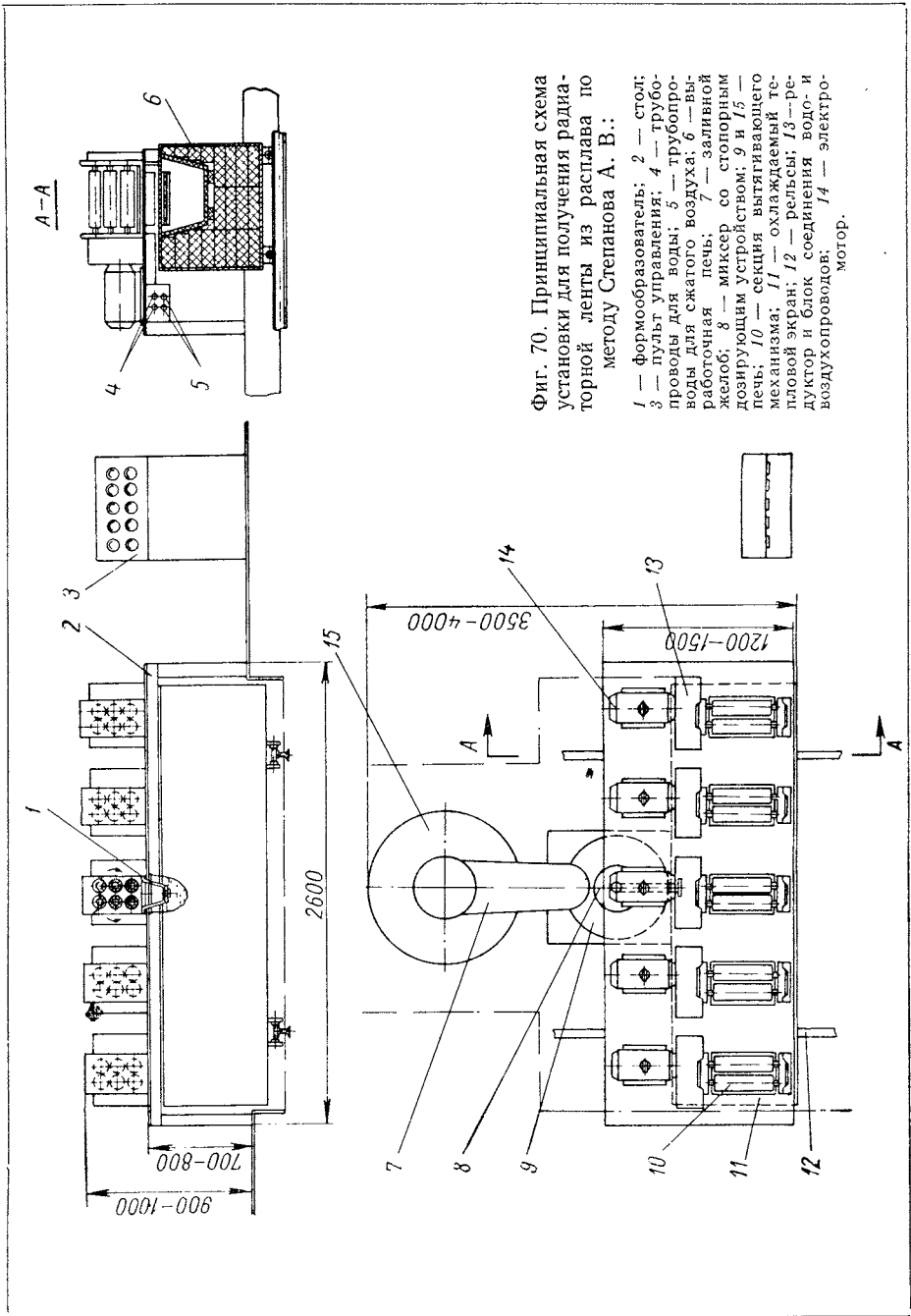
Установка имеет следующую проектную характеристику:

Количество секций вытяжного механизма, шт.	5
Скорость получения радиаторной ленты из одной секции, м/ч	8
Среднее время работы одной секции в сутки, ч	20
Суточная производительность установки, метров радиаторной ленты	800—850

Следует отметить, что помимо метода Степанова А. В. для изготовления радиаторной ленты непосредственно из расплава при соответствующей доработке могут оказаться перспективными и некоторые другие методы. К числу таких методов относится литье намораживанием на валках, что позволит значительно повысить скорость получения изделий.

Накатка ребер на трубах. На первой стадии производства алюминиевых радиаторов трубчато-ребристого типа фирмы «Опель» и «Беер» использовали для получения оребренных труб метод механической обработки толстостенных алюминиевых труб резцом на токарных станках [34]. Применялись круглые трубы, имевшие толщину стенки 4 мм, причем при обработке резцом обеспечивалась толщина стенки оребренной трубы 0,6 мм, а высота ребра 3,4 мм. Сечение через стенку трубки и ребро после обработки показано на фиг. 71, а. При подобной организации производства оребренных труб значительно увеличивалась трудоемкость их изготовления, так как время обработки одной трубы составляло 12 мин, и отходы материала были весьма велики.

Переход на изготовление оребренных труб методом накатки позволил свести почти к нулю отходы металла и снизить время

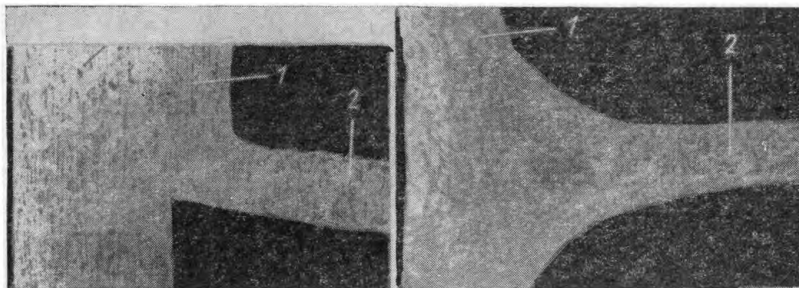


Фиг. 70. Принципиальная схема установки для получения радиоторной ленты из расплава по методу Степанова А. В.:

- 1 — формообразователь; 2 — стол;
- 3 — пульт управления; 4 — трубопроводы для воды; 5 — трубопроводы для сжатого воздуха; 6 — выработочная печь; 7 — заливной желоб; 8 — миксер со створным дозирующим устройством; 9 и 10 — печь; 11 — секция вытягивающего механизма; 12 — охлаждаемый тепловой экран; 13 — рельсы; 14 — дуктор и блок соединения водо- и воздухопроводов; 15 — электромотор.

обработки одной трубы до 4 мин. В процессе накатки металл стенки трубы не удалялся, а методом пластической деформации выдавливался между специальными роликами, входящими в зацепление с трубой. Как видно из фиг. 71, б, при этом на трубе отсутствовали дефекты и расположение волокон материала было вполне удовлетворительным.

В качестве заготовки при такой технологии изготовления плоскоовальных элементов радиатора использовалась круглая тонкостенная труба, имевшая внутренний диаметр 51 мм и толщину



Фиг. 71. Сечение стенки и ребра оребренной трубки, изготовленной обработкой резцом на токарном станке (а) и накаткой (б):

1 — стенка трубки, 2 — ребро.

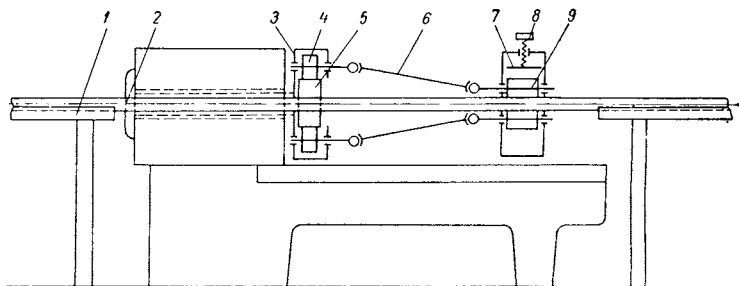
стенки 1,3 мм. При накатке труба надевалась на специальную оправку, входящую обоими торцами в зацепление с зубчатыми муфтами станка. Образование ребер происходило в течение нескольких проходов роликов вперед и назад. Толщина стенки трубы доводилась до 0,6 мм, средняя толщина ребра — 0,3 мм, расстояние между осями ребер 2,2—2,5 мм.

Накатка производилась двумя комплектами роликов, входившими в зацепление с трубой и располагавшимися с обеих ее сторон. Направляющие станка, на которых размещались комплекты роликов, допускали их перемещение на всю длину обрабатываемой трубы. Ролики были изготовлены из материала следующего состава: 14% — хром; 0,8% — вольфрам; 0,3% — ванадий; 2% — углерод и остальное — железо. В качестве эмульсии для смазки использовалась смесь воды и специального масла в соотношении 10 : 1. Смазка подавалась сильной струей непосредственно в зону соприкосновения роликов и трубы.

После операции накатки для снятия наклепа оребренные трубы подвергались термообработке в печи при температуре 450° С в течение 10 мин. Затем на оребрении диаметрально противоположных сторон круглой трубы по ее образующим производилась вырезка сегментов и труба была готова к сплющиванию. Эта операция распадалась на несколько приемов, но выполнялась в одном штампе:

труба вначале принимала форму эллипса, а затем надевалась на плоскую стальную оправу и штамповалась до плоскоооувальной формы. Ширина прохода для воды составляла 0,8 мм. После сплющивания участки поверхности со снятым оребрением, как это можно видеть из фиг. 23, располагались на переднем и соответственно на заднем участке трубы. Испытание готовой трубы на герметичность производилось сжатым воздухом под давлением 4—5 кг/см² в водяной ванне.

После операции механической обработки (зиговки ребер, обрезки на заданный размер, снятие заусенцев и т. п.) производилась



Фиг. 72. Схема приспособления к токарно-винторезному станку для накатки ребер на трубках.

сварка элементов сердцевины и последующая ее сварка с коллекторами.

Как показал многолетний опыт производства большого количества алюминиевых радиаторов, описанный метод не свободен от ряда недостатков и прежде всего большой стоимости цельнотянутых труб, используемых в качестве заготовок, и сравнительно высокой трудоемкости, требующей значительных затрат ручного труда.

За последние годы в нашей стране заметное распространение начинает получать изготовление оребренных трубок методом поперечно-винтовой накатки или оребрение труб методом пластической деформации [19]. Накатка ребер на алюминиевых трубках, имеющих толщину стенки 2,5 ÷ 3,0 мм, позволяет получить ребра заданного профиля — одно — или многозаходные с углом подъема винтовой линии до 10°. Высота ребер в этом случае может достигать 12 мм.

Для накатки ребер на трубках могут быть использованы специальные приспособления к токарно-винторезным станкам или применены специальные станы, причем в обоих случаях основные принципы технологии сохраняются. Приспособление к токарно-винторезному станку для накатки ребер на трубках спроектировано Гипронефтемашем (фиг. 72). Приспособление состоит из

трех узлов: приводной головки, механизма накатки и приемного лотка.

Приводная головка 3 располагается на станине станка таким образом, что при этом большая шестерня 5 оказывается закрепленной на шпинделе. Вращение передается от большой шестерни трем малым 4, оси которых расположены под углом 120° .

От малых шестерен через три шарнирных валика 6 вращение передается непосредственно к механизму накатки. Механизм накатки состоит из корпуса, установленного на направляющих станины станка, трех накатных роликов 9, расположенных также под углом 120° , и устройства 7 для перемещения одного из роликов к центру трубы.

Труба-заготовка 2 по желобу 1 через полый вал шпинделя станка подается на накатные ролики. При повороте маховика 8 один из роликов получает радиальное перемещение и зажимает трубу, после чего включается привод станка и происходит врезание накатных роликов. В результате накатки на трубе получается зеркальный отпечаток роликов. При этом внутренний диаметр трубы несколько уменьшается. Охлаждающей средой при накатке является веретенное масло или сульфозфрезол. Скорость накатки регулируется изменением скорости вращения станка. Готовая труба поступает на приемный лоток.

По подобной принципиальной схеме устроены станы для накатки ребер на трубах, разработанные институтом ВНИИМЕТ-маш и демонстрировавшиеся на ВДНХ в 1961—1962 гг. Станы предназначены для накатки алюминиевых и биметаллических труб. Они имеют следующую характеристику:

Производительность, <i>м/год</i>	200 000
Диаметр отверстия труб, <i>мм</i>	13—20
Высота ребер, <i>мм</i>	до 12
Шаг ребер, <i>мм</i>	2—5
Наименьшая толщина стенки несущей трубы, <i>мм</i>	1—1,5
Наибольшая длина готовых труб, <i>мм</i>	5000

Склейка. В настоящее время промышленные методы соединения деталей машин склейкой находят все более широкое применение. В авиации, например, успешно производится соединение склейкой весьма ответственных деталей. Как показал опыт, клеевой шов обладает достаточно высокой прочностью и стойкостью против коррозии, кроме того, в процессе склейки не происходит деформаций деталей, связанных с температурными напряжениями, как это имеет место, например, при сварке или пайке. В некоторых случаях замена сварки и пайки клеевым соединением, может даже дать экономический эффект.

Применительно к алюминиевым радиаторам процесс склейки находит применение, в основном, в местах присоединения теплоот-

дающих элементов (оробренных трубок, радиаторной многоканальной ленты и т. п.) к арматуре радиатора.

Использование склейки для соединения между собой деталей поверхности охлаждения имело место лишь в алюминиевом радиаторе трубчато-пластинчатого типа фирмы «Фимаг» [34]. Для этой цели использовался специальный раствор синтетической смолы, насыщенный алюминиевым порошком. Состав раствора: растворитель — 6 весовых частей, алюминиевый порошок — 4 весовых части, специальный лак — 10 весовых частей. Предъявлялись весьма высокие требования к выдерживанию вязкости раствора в определенных пределах, так как в ином случае тепловая эффективность изготавливаемого радиатора резко ухудшалась.

Собранный радиатор после соответствующей химической обработки погружался в лаковую ванну, а затем помещался на наклонный стол, чтобы излишки раствора могли стечь. Радиатор выдерживался в таком положении около часа, обдувался сжатым воздухом под давлением 5 кг/см^2 и после этого специальным конвейером подавался в сушильную печь. Время выдержки радиатора в печи — 1,5 ч, температура — 160°C .

Такая технология изготовления сердцевины радиатора не может быть оценена положительно в связи со значительным повышением термического сопротивления в местах соединения.

Прочность клеевого соединения зависит в основном от двух факторов: от прочностных показателей применяемого клея и прочности сцепления между клеем и металлом (адгезии). На адгезию для данных материалов наибольшее влияние оказывают: зазор между склеиваемыми поверхностями, состояние этих поверхностей, температура процесса и величина давления на склеиваемые поверхности.

К клеям, используемым при изготовлении алюминиевых радиаторов, предъявляются жесткие требования по прочности и пластичности, коррозионной стойкости, вибростойкости, а также работоспособности в течение длительного срока в различных температурных условиях (рабочий диапазон температур от -50 до $+110^\circ \text{C}$). Клеи должны быть стойкими к воздействию воды, бензина и масла.

Этим требованиям в наибольшей степени отвечают клеи из эпоксидных смол. В табл. 11 приведены показатели некоторых типов клеев [20], которые могут найти применение при изготовлении алюминиевых радиаторов.

Склейке алюминиевых деталей предшествует тщательная очистка склеиваемых поверхностей: обезжиривание в различных растворителях, а иногда и травление. Соединенные детали помещают для отверждения клея в печь с регулируемым температурным режимом. Иногда отверждение производится на воздухе при комнатной температуре.

Ниже приводится состав клеев холодного и горячего отверждения (в весовых частях), использовавшихся для сборки пластин

Физико-механические, технологические и экономические показатели клеев

Марка клея	σ_d при 20° С	Теплостойкость	Морозостойкость	Стойкость			Устойчивость	
				против воды	против бензина	против масла	вибрационная	антикоррозийная
		°С						
БФ-4	60—100	+180	—60	Да	Да	Да	Да	Да
ГЭИ-150(В)	70—100	+150	—70	Да	Да	Да	Да	Да
ВК-32-200	170	+200	—60	Да	Да	Да	Да	Да
К-115	700—900 (на изгиб)	+130	—60	Да	Да	Да	Да	Да
УПОН 1200Р (эпоксидный 1200)	200	+200	—60	Да	Да	Да	Да	Да

Марка клея	Токсичность	Пластичность	Технология склеивания			Расход клея на 1 м ² склеиваемых поверхностей, г
			время выдержки, мин	температура, °С	давление, кг/см ²	
БФ-4	Нет	Да	30	150	3—20	150—200
ГЭИ-150(В)	Да	Да	45	145	0,5—1,0	100
ВК-32-200	Да	Да	120	180	8—30	150—300
К-115	Нет	Нет	360	70	2,0	150—300
УПОН 1200Р (эпоксидный 1200)	Нет	Да	2880 600	20 50	0,2	150—300

и проушин секций алюминиевых радиаторов секционного типа (фиг. 40):¹

Клей холодного отверждения

Смола эпоксидная ЭД-6 (ВТУМ 646-55)	100
Полиэтиленполиамин	10
Дибутилфторат	25
Алюминиевая пудра	5

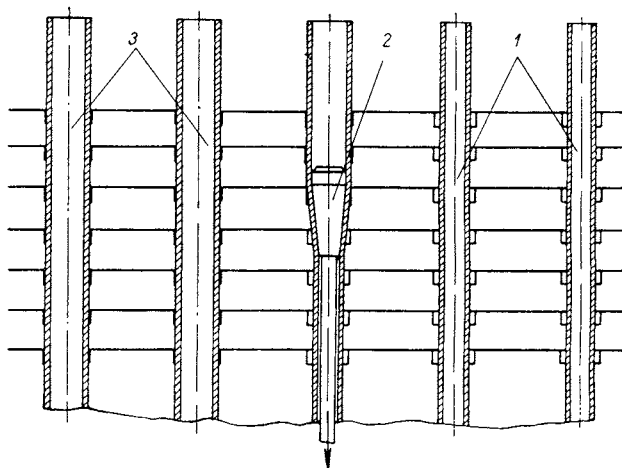
Клей горячего отверждения

Смола эпоксидная ЭД-6	100
Малеиновый ангидрид (ГОСТ 5854-51)	40
Портландцемент марки 300 или 400	135
Алюминиевая пудра	5

¹ Предложены А. М. Школьник и Э. Д. Жабиным.

К недостаткам клеевых соединений относится значительная продолжительность процесса склеивания (подготовка, склеивание и выдержка), которая в ряде случаев составляет 3 ч и более, что весьма нежелательно при организации массового производства радиаторов.

Кроме того, в настоящее время необходима тщательная проверка в течение длительного времени работоспособности клеевых соединений в радиаторах.



Фиг. 73. Схема калибровки охлаждающих трубок радиатора НК-120:

1 — трубки до калибровки; 2 — трубка в процессе калибровки; 3 — трубки после калибровки.

Изготовление трубчато-пластинчатых сердцевин радиаторов НК-120. Технология изготовления сердцевин алюминиевых радиаторов типа НК-120 и отопителей, промышленная партия которых выпущена Ждановским машиностроительным и Шадринским автоагрегатным заводами, предусматривает отказ от использования процессов пайки или сварки и замену их простым механическим соединением. В этом случае предлагается один из путей решения вопроса — соединения элементов поверхности охлаждения сердцевины радиатора.

Операция предварительной сборки сердцевины алюминиевого радиатора, состоящей из цельнотянутых трубок и штампованных пластин, мало чем отличается от аналогичной операции сборки сердцевин медных паяных радиаторов. Однако здесь вместо последующей операции спекания сердцевины применяется оригинальная операция калибровки трубок, схема которой приведена на фиг. 73 [21].

После предварительной сборки сердцевины между трубками и пластинами остается некоторый зазор, который является совершенно естественным для данного варианта технологии. Ликвидация этого зазора и обеспечение контакта между стенками трубок и пластинами осуществляется пропусканьем через все трубки собранной сердцевины конусной протяжки, диаметр калибрующего конца которой несколько больше внутреннего диаметра трубки. После протяжки наружные размеры трубок становятся больше максимальных размеров отверстий в охлаждающих пластинах, что обеспечивает плотное прилегание трубок и компенсирует несоосность расположения отдельных отверстий.

Контакт между круглыми трубками и пластинами может быть получен не только за счет механической калибровки трубок, но и путем их внутренней опрессовки гидравлическим или пневматическим способами [21].

В случае использования в сердцевине овальных трубок последние получают путем пропускания заготовок, имеющих вид круглых трубок диаметром 8,3 мм, через специальные фильеры. После сборки сердцевины и операции калибровки концы трубок снова превращаются в круглые для лучшего уплотнения в резиновых блоках. Соединение резиновых блоков с концами трубок производится напрессовкой.

Как показал опыт, описанная технология соединения элементов сердцевины радиаторов обеспечивает в производстве достаточно надежный контакт между ними, но не свободна от недостатков. Большой процент цельнотянутых трубок выходит по браку в процессе калибровки, что значительно повышает себестоимость радиатора вследствие высокой цены трубок. Повреждения и задиры внутренней поверхности трубок в процессе калибровки повышают опасность их коррозионного поражения, особенно в том случае, если калибровка производится стальными протяжками, так как следы калибра (вкрапления железа) на внутренних поверхностях трубок могут явиться очагами коррозии при последующей эксплуатации радиатора. Калиброванные трубки более подвержены повреждениям при замерзании воды внутри их, так как пластические свойства стенок ухудшены. Стабильность контакта между трубками и пластинами в процессе эксплуатации может оказаться недостаточной.

5. Специализация производства алюминиевых радиаторов

Изложенные выше материалы по технологии изготовления алюминиевых радиаторов показывают, что в настоящее время имеется целый ряд технологических приемов, которые, хотя и являются новыми для радиаторного производства, но могут оказаться весьма перспективными.

В табл. 12 дана применяемость различного вида технологических процессов для изготовления из алюминия конструкций радиаторов, рассмотренных в гл. II. Таблица составлена на основании анализа материалов по конструкциям радиаторов, а также отечественного и зарубежного опыта по изготовлению образцов и партий алюминиевых радиаторов. Из таблицы следует, что наиболее широкими технологическими свойствами обладает конструкция алюминиевого радиатора секционного типа: эта конструкция может быть выполнена наибольшим количеством технологических приемов. Помимо пайки возможно использование таких новых для радиаторного производства технологических процессов, как сварка прокаткой, прессовая сварка, вытяжка из расплава и др. Применение этих технологических процессов может привести к значительному повышению уровня автоматизации и специализации производства, ликвидации вредности производства и повышению качества выпускаемых изделий.

Одной из наиболее характерных особенностей современного машиностроения, в большой степени определяющей его эффективность, является специализация, которая способствует широкому внедрению новой техники и передовой технологии, комплексной механизации и автоматизации, повышению производительности труда.

В настоящее время в машиностроении нашей страны предметно-замкнутую специализацию имеют 80,5%, а детальную — только 17,3% предприятий. Технологическая же специализация находится в зачаточном состоянии. Такая развитая отрасль машиностроения как автомобилестроение имеет только около 20% предприятий с деталью специализацией производства.

При организации производства на детально специализированных заводах возможно значительное снижение себестоимости продукции. Себестоимость изготовления деталей на детально специализированных заводах тракторного машиностроения по сравнению с себестоимостью тех же деталей на комплексных тракторных заводах (принято за 100%) составит (в %) [23]:

Поршни	62—47
Кольца поршневые	43—26
Гильзы	63—48
Клапаны	51

Причем съем продукции с одного квадратного метра производственной площади в год увеличится с 2,7—5,0 тыс. руб. до 6,7—9,0 тыс. руб.

Производство радиаторов автотракторных двигателей в нашей стране в основном сосредоточено в арматурных цехах крупных автомобильных, тракторных и машиностроительных заводов, которые выпускают большую номенклатуру типов радиаторов, обеспечивая текущее производство и потребности в запасных частях.

Применяемость технологических процессов при изготовлении некоторых конструкций алюминиевых радиаторов

Технологический процесс		Применение для изготовления конструкций радиаторов				
		трубчато-пластинчатого типа	трубчато-ленточного типа	трубчато-ребристого типа	секционного типа	
Пайка	Мягкими припоями	Сборка сердцевин и радиатора	Сборка сердцевин и радиатора	Крепление ребер к трубкам; сборка радиатора	Сборка секций (элементов)	
	Твердыми припоями	То же	То же	То же	То же	
Сварка	Электрическая контактная	Нет	Нет	Нет	Сборка секций (элементов)	
	Аргоно-дуговая	Сборка бачков и арматуры	Сборка бачков и арматуры	Соединение трубок с опорными пластинами; сборка бачков	Сборка арматуры	
	Прокаткой по печатной схеме	Изготовление трубок	Изготовление трубок	Нет	Изготовление секций (радиаторной ленты)	
	Другие виды	---	---	---	Сборка проушин с лентой, сборка секций	

Технологический процесс	Применение для изготовления конструкций радиаторов				секционного типа
	трубчато-пластинчатого типа	трубчато-ленточного типа	трубчато-ребристого типа		
Склейка	Сборка трубок с пластинами	Нет	Соединение трубок с опорными пластинами; соединение трубок с ребрами	Сборка секций; соединение проушин с лентой	
Механическое соединение (неразборное)	Сборка сердцевин	Нет	Сборка трубок с ребрами	Нет	Нет
Механическое соединение (разборное)	Сборка бачков с сердцевинной	Сборка бачков с сердцевинной	Сборка сердцевин; сборка бачков с сердцевинной	Сборка сердцевин и всего радиатора	
Накатка ребер	Нет	Нет	Изготовление элементов сердцевин	Нет	
Вытяжка из расплава	Изготовление трубок	Изготовление трубок	Нет	Изготовление радиаторной ленты	
Прокатка слитков по методу Империял Кемикл Индастриес	То же	То же	Нет	То же	
Армированное литье под давлением	Нет	Нет	Нет	Соединение проушин с лентой	

Следует сказать, что Ждановский машиностроительный, Оренбургский «Автозапчасть» и др. по объему выпускаемой продукции являются сравнительно крупными заводами, но, к сожалению, радиаторы — не единственный их производственный профиль.

За рубежом производство автотракторных радиаторов давно уже развилось в специализированную отрасль промышленности. Широкую известность имеют такие производящие радиаторы фирмы, как например «Харрисон» (США), «Ковентри Мотор» (Англия), «Шоссон» (Франция) и др.

Концентрация производства автотракторных радиаторов на крупных специализированных предприятиях позволяет там же осуществить комплекс организационных и технических мероприятий, включающих научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию новых конструкций радиаторов и технологии их производства, а также доведение этих работ до внедрения в производство. Примером такой организации являются работы, проводимые фирмой «Харрисон» по алюминиевым автомобильным радиаторам.

Как следует из материалов, помещенных в данной главе, переход на изготовление автотракторных радиаторов из алюминия предусматривает большую или меньшую ломку сложившегося производства медных радиаторов. Имеется ряд конструкций алюминиевых радиаторов, внедрение которых позволит использовать передовые технологические процессы, ликвидировать вредность производства, организовать детальную и технологическую специализацию.

Переход на изготовление радиаторов из алюминия является весьма актуальным и давно уже стоит на повестке дня; поэтому наиболее целесообразным является одновременное решение вопросов внедрения новых конструкций алюминиевых радиаторов и специализации их производства.

Особенно эффективным может явиться организация специализированного производства алюминиевых радиаторов секционного типа.

Производство этих радиаторов легко можно организовать как детальную и технологическую специализацию производства нескольких типоразмеров унифицированных секций (схема 1), которое целесообразно сосредоточить на нескольких заводах, расположенных в различных районах страны.

Такая концентрация производства одноименной, конструктивно и технологически однородной продукции явится важнейшей предпосылкой создания специализированных заводов-автоматов по производству унифицированных секций, оснащенных всеми современными высокопроизводительными техническими средствами.

Организация заводов-автоматов сделает возможным использование унифицированных секций для радиаторов других машин,

таких как тепловозы, дорожно-строительные машины, стационарные двигатели и т. п. В этом случае специализированный завод-автомат по производству секций будет иметь межотраслевое значение.

Унифицированные секции должны поставляться в порядке комплектации сборочным заводам, производящим сборку машин, ремонтным и эксплуатирующим организациям и в торговую сеть. При этом стоимость перевозок уменьшится по сравнению с перевозкой собранных радиаторов и поэтому экономически эффективные радиусы кооперирования по унифицированным секциям достигнут весьма значительных размеров.

При такой организации производства алюминиевых радиаторов на долю сборочных заводов (тракторных, автомобильных и др.) останется изготовление необходимой арматуры, являющейся специфичной для машин, выпускаемых данными заводами, и сборка радиаторов с использованием унифицированных секций определенных типоразмеров.

ГЛАВА IV

ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ АЛЮМИНИЕВЫХ РАДИАТОРОВ

1. Процессы коррозии и их протекание в зависимости от условий эксплуатации радиаторов

Для радиаторов систем охлаждения автотракторных двигателей являются характерными процессы коррозии металлов, т. е. процессы их разрушения вследствие химического или электрохимического взаимодействия с внешней коррозионной средой.

Процессы коррозии происходят не только в радиаторах, изготовляемых из алюминиевых сплавов. Коррозии подвергаются также медно-латунные радиаторы, особенно их трубки, выполненные из латуни с повышенным содержанием цинка. Например, известны случаи, когда при эксплуатации автомобилей ЗИЛ-5 и ГАЗ-51 в районах станиц Ея и Егорлыкской, разрушение латунных трубок радиаторов происходило после пробега примерно 50 тыс. км [22].

Однако алюминиевые сплавы, в ряде случаев, более подвержены коррозии, чем медь и латуни. Поэтому изучение процессов коррозии в алюминиевых радиаторах и выбор способов ее предупреждения в течение заданного срока службы является важным вопросом, решение которого должно предшествовать внедрению радиаторов в производство.

Следует отметить, что в настоящее время проблема защиты от коррозии алюминиевых сплавов в системах охлаждения двигателей является весьма актуальной в связи со все более широким применением в конструкциях двигателей алюминиевых сплавов. Из алюминиевых сплавов делают: блоки цилиндров, головки блоков, корпуса водяных насосов и др. Эти детали обычно выполняются из литейных алюминиевых сплавов, более подверженных коррозии, чем чистый алюминий или его сплавы АМц и АМг; однако опасность коррозионного поражения литейных сплавов здесь существенно снижается за счет большей толщины стенок.

По своим химическим качествам алюминий является весьма активным металлом, однако в обычном состоянии (в присутствии окислителей) его поверхность покрыта естественной окисной пленкой (Al_2O_3), которая весьма резко снижает его химическую активность. Эта пленка имеет толщину около 0,01—0,04 мк; она обладает свойствами самопроизвольно образовываться и восстанавливаться после повреждений или других ее нарушений, что делает алюминий весьма стойким металлом. Такая же защитная пленка образуется на поверхности алюминиево-магниевого и алюминиево-марганцевого сплавов.

Коррозия алюминиевых сплавов по характеру разрушения подразделяется на общую, местную (точечную) и межкристаллитную.

При оценке общей коррозии в пресной воде алюминий и сплавы АМц и АМг характеризуются как весьма стойкие. Поэтому этот вид коррозии является для них нетипичным.

При местной (точечной или язвенной) коррозии разрушению подвергаются лишь некоторые участки или точки поверхности металла. Причинами такой коррозии являются [17]: местные механические повреждения поверхности (задиры, царапины и т. п.) или загрязнение ее, наличие гетерогенных составных частей, неравномерное соприкосновение поверхности с электролитом или воздухом. Для алюминиевых радиаторов эта коррозия является наиболее опасной, так как она при сильном развитии может привести к сквозному разрушению тонкого материала водяных трубок и вызвать течи.

При межкристаллитной коррозии разрушение происходит по границам зерен, нарушая связь между ними, что приводит к существенному снижению прочности и пластичности металла.

Как правило, чем чище металл, тем при одинаковых условиях выше его коррозионная стойкость. Наличие в алюминии примесей, а также введение в его сплавы для повышения механических свойств легирующих присадок почти всегда ухудшает его коррозионную стойкость. Особенно заметными в этом отношении являются примеси меди и железа, во много раз снижающие коррозионную стойкость алюминия и его сплавов. Поэтому, если имеется опасность поражения от коррозии, содержание в сплаве железа не должно превышать 0,4%, а меди — 0,05%. Растворенный в алюминии кремний мало уменьшает коррозионную стойкость, однако в нерастворенном состоянии (вкрапления кремния) оказывает корродирующее влияние.

Исключением является влияние примесей марганца и магния. В некоторых условиях (действие растворов щелочи и поваренной соли) определенные величины легирующих присадок этих металлов не ухудшают коррозионной стойкости алюминия; поэтому сплавы АМц и АМг (табл. 2), имея значительно более высокие механические свойства, чем чистый алюминий, являются весьма перспективными для применения в алюминиевых радиаторах.

Алюминиевые сплавы подвергаются коррозии как в кислой ($\text{pH} < 7$), так и в щелочной ($\text{pH} > 7$) средах. Однако в щелочных средах коррозия протекает более интенсивно, так как со щелочью алюминий образует комплексные алюминаты (типа Na_2AlO_3), имеющие рыхлое (студенистое) строение; в кислых средах окислы алюминия относительно устойчивы [1].

В сырых или влажных условиях коррозия алюминия может быть ускорена при непосредственном контакте с другим металлом, также используемым для изготовления радиатора. Здесь мы встречаемся с так называемой электрохимической (контактной) коррозией. Два металла и охлаждающая жидкость (электролит) образуют гальванический элемент, прохождение электрического тока в котором приводит к разрушению более активного из двух металлов. На скорость электрохимической коррозии в основном влияют относительный электрохимический потенциал и относительная площадь находящихся в контакте металлов, а также общее сопротивление цепи гальванического тока [30].

Металлы и сплавы, представляющие интерес при изготовлении радиаторов, по электрохимическому потенциалу в большинстве жидкостей, используемых для заполнения систем охлаждения, располагаются в следующей определенной последовательности (разность потенциалов зависит от состава жидкости и температуры):

магний
цинк
алюминиевые сплавы
кадмий
сталь
свинец
олово
латунь
медь
нержавеющая сталь

Положение металла в этой последовательности зависит от концентрации в растворе ионов водорода pH и в других растворах может изменяться. Каждый из металлов является анодным по отношению к металлам, расположенным ниже, и катодным — к расположенным выше. Потенциал будет тем больше, чем дальше металлы расположены друг от друга. Нержавеющая сталь и алюминиевые сплавы обычно являются исключением из этого правила, так как общее сопротивление защитных пленок обоих металлов значительно уменьшает гальванический эффект.

При данной площади анода разрушение металлов прямо пропорционально площади соответствующего катода.

При электрохимической коррозии количество разрушившегося на аноде металла прямо пропорционально количеству прошедшего через него электричества, т. е. равно произведению силы тока на время его прохождения. В свою очередь, сила тока зависит

как от разности потенциалов между анодом и катодом, так и от общего сопротивления всей электрической цепи в соответствии с законом Ома. Это сопротивление складывается из сопротивления самих металлов, контактного сопротивления между их поверхностями и электролитом и сопротивления электролита.

В качестве примера появления контактной коррозии в алюминиевых радиаторах может явиться случай, когда распорные кольца проушин секций алюминиевых радиаторов изготовлялись из стального листа с последующей оцинковкой (фиг. 33). При непосредственном контакте ленты АМц со стальным оцинкованным кольцом сначала происходила коррозия цинкового покрытия, являвшегося анодом по отношению к алюминию, и после его разрушения, когда алюминий вступал в прямой контакт со сталью, — язвенная коррозия основного металла секции (АМц).

При эксплуатации радиаторов имеют место два вида коррозии: жидкостная и атмосферная.

Жидкостная коррозия, или коррозия металлов в жидкой среде, происходит в пресных водах различной степени агрессивности (при температурах от 0 до +100° С и выше), антифризах (при температурах от —40° С до +100° С и выше) и т. п. Этот вид коррозии характерен для внутренних полостей радиаторов. Следует отметить, что во время длительных стоянок машин охлаждающая жидкость из радиатора может сливаться и тогда внутренние поверхности будут находиться в атмосфере паров воды или антифриза 100-процентной влажности при температуре окружающей среды.

Атмосферная коррозия наблюдается в атмосфере, которая может содержать влагу (дождь, снег и т. п.), водяные пары и различные газы (атмосферные условия при температурах от —50° С до +100° С и выше). Этому виду коррозии подвергаются обычно наружные (внешние) поверхности радиаторов. Следует учесть, что наружные поверхности радиаторов могут подвергаться также и воздействию минеральных солей, например таких как хлористый кальций [30], которые попадают на радиатор вместе с брызгами воды с дороги, луж и т. п.

Жидкостная коррозия. В естественных условиях вода, используемая для заполнения систем охлаждения автотракторных двигателей, нигде не встречается в химически чистом виде (H_2O), а представляет собой раствор, в который входит сложный комплекс газов, ионов, коллоидов минерального и органического происхождения.

По имеющимся данным [48] наиболее агрессивными по отношению к алюминию и его сплавам являются воды, одновременно содержащие ионы: хлоридные — Cl^- , гидрокарбонатные — HCO_3^- , кальция — Ca^{2+} , меди — Cu^{2+} , а также кислород. Другие анионы и катионы оказывают на коррозию алюминия в воде незначительное влияние.

Химический состав наиболее агрессивной для алюминия и его сплавов воды следующий [48]: $Cl' = 100 \text{ мг/л}$, $HCO_3' = 650 \text{ мг/л}$, $SO_4'' = 700 \text{ мг/л}$, $Ca^{++} = 250 \text{ мг/л}$, $Cu^{++} = 0,5 \text{ мг/л}$. Дальнейшее увеличение содержания в воде указанных ионов не вызывает заметного увеличения интенсивности коррозии.

В настоящее время еще не определены окончательно основные закономерности коррозии алюминия в воде в зависимости от качественного и количественного состава растворенных ионов. Огромное значение имеет рН воды. При $pH < 7$ точечная коррозия несмотря на наличие в воде солей, способствующих ее возникновению, проявляется незначительно. Она становится заметной лишь при $pH > 7$, при этом с увеличением рН число коррозионных центров уменьшается, а глубина их увеличивается.

Для заполнения систем охлаждения используются пресные воды: речные, озерные, реже колодезные и выпавшие в виде атмосферных осадков (дождь, снег). Наиболее широко используются речные воды.

Большинство рек земного шара имеют малую и среднюю величину минерализации воды, и лишь редко реки обладают водой высокой минерализации.

Для коррозионного разрушения алюминиевых радиаторов наибольшую опасность представляют воды гидрокарбонатного и хлоридного классов с высокой минерализацией (свыше 500 мг/л). Эти воды распространены на юге и юго-востоке Европейской территории СССР, в северном Казахстане, в южной части Западной Сибири и южном Приуралье, т. е. в лесостепной, степной и полупустынных зонах.

В настоящее время принято считать, что наиболее агрессивной из природных вод СССР для алюминия и его сплавов является состав воды реки Ишим; поэтому она является своего рода эталоном при выполнении различного рода лабораторных испытаний алюминиевых радиаторов.

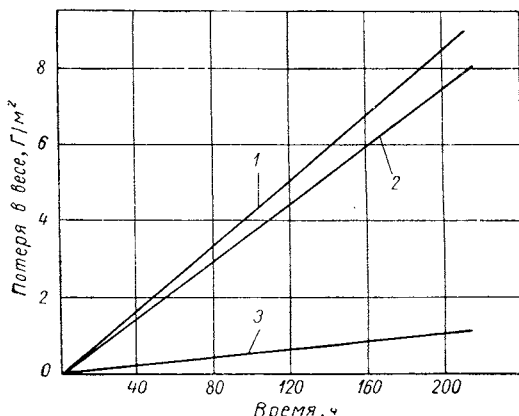
Величина минерализации воды пресных озер примерно такая же, как и у речных вод. В то же время применяемые для заполнения систем охлаждения водопроводные воды нередко имеют повышенную агрессивность для алюминия вследствие хлорирования, т. е. повышения содержания в них ионов Cl' .

Снижает также коррозионную стойкость алюминиевых радиаторов наличие в воде свободного кислорода, что может иметь место при использовании для заполнения радиатора дождевой водой и особенно при неудовлетворительном воздухоотделении в системе охлаждения двигателя. В последнем случае через радиатор циркулирует вода, содержащая повышенное количество воздуха, а следовательно, и кислорода.

В качестве охлаждающих жидкостей в автотракторных двигателях в зимнее время применяются антифризы, т. е. смеси

этиленгликоля с водой. По имеющимся данным, например [29] коррозия алюминия и его сплавов в антифризе носит равномерный характер; при этом ее скорость в несколько раз меньше, чем скорость коррозии меди и латуни (фиг. 74). Это связано с различной растворимостью в антифризе продуктов коррозии алюминия и меди.

Малая подверженность коррозии алюминиевых радиаторов при эксплуатации их на антифризах подтверждается опытом применения алюминиевых радиаторов фирм «Фимаг» и «Опель» в авиации.



Фиг. 74. Интенсивность коррозии алюминия (3), меди (2) и латуни (1) в 40-процентном водном растворе этиленгликоля при температуре 70° С.

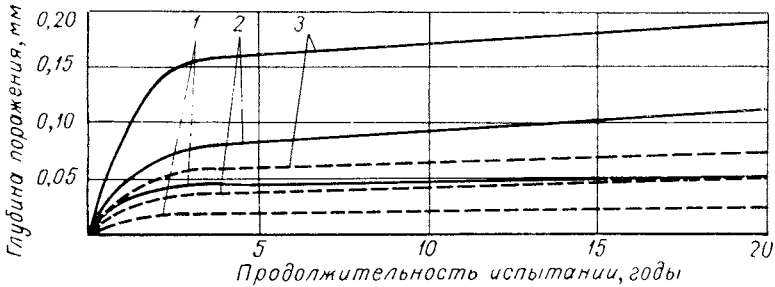
Эти радиаторы преимущественно заполнялись 50-процентной смесью этиленгликоля и воды, и после длительной эксплуатации не было отмечено никаких следов коррозии. Опасность коррозии этих радиаторов считалась настолько незначительной, что в Германии в годы второй мировой войны практически работы по их коррозионной защите не проводились.

Атмосферная коррозия. Коррозионная стойкость алюминия и его сплавов в обычных атмосферных условиях высокая. Открытые поверхности алюминия, находящиеся под воздействием наружной атмосферы, подвергаются более или менее заметной коррозии вначале, однако скорость коррозии быстро затухает, что приводит, например, к тому, что глубина коррозии за первый год эксплуатации равна глубине коррозии за последующие 19 лет. На фиг. 75 представлена глубина точечной коррозии на поверхности алюминиевого сплава типа АМц за 20-летний период эксплуатации в прибрежном (морском), промышленном и тропическом районах [26]. Как видно из фиг. 75, максимальная глубина

поражения за 20 лет в прибрежном (морском) районе составила около 0,2 мм.

Основной агрессивно действующей на металл составной частью атмосферы является в большинстве случаев кислород. Много растворенного кислорода содержится в дождевой воде, особенно в мелких каплях слабых осадков и тумана; в этих условиях интенсивность коррозии алюминия повышается.

Применительно к алюминиевым радиаторам, находящимся в процессе нормальной эксплуатации, следует иметь ввиду, что влага с их поверхностей быстро испаряется вследствие совмест-



Фиг. 75. Характеристика коррозионной стойкости алюминиевых сплавов типа АМц для тропического (1), промышленного (2), прибрежного (3) районов:

— — — — — среднее, ————— максимальное значение.

ного воздействия тепла и потока проходящего воздуха; это безусловно имеет положительное значение для повышения коррозионной стойкости радиаторов.

Значительное усиление точечной коррозии происходит при длительных стоянках или хранении в условиях загрязненности атмосферы газами CO_2 и SO_2 , особенно при высокой влажности и температуре окружающего воздуха, а также при наличии соли (хлористый натрий) в воздухе или в разбрызгивающей воде, что является характерным для морской атмосферы.

Поэтому алюминиевые радиаторы, как и другие детали и узлы автотракторных двигателей, могут подвергаться при транспортировке по морю гораздо более сильным коррозионным воздействиям, чем на месте во время нормальной эксплуатации.

Имеются сведения [28], что в прибрежных районах тропических стран наблюдаются большие скорости коррозии металлов, иногда в 5 раз превышающие скорости коррозии тех же металлов в промышленных районах умеренной зоны. Однако в прибрежных районах скорость коррозии быстро уменьшается по мере удаления от берега моря.

Происходит коррозия также под воздействием различных биологических факторов, например при деятельности бактерий,

грибковых спор и других микроорганизмов. Такие разрушения встречаются в районах с влажно-тропическим климатом.

Максимальную атмосферную коррозию алюминевых радиаторов можно ожидать не при эксплуатации, а во время хранения или транспортировки машин при совместном действии нескольких факторов: тропической морской атмосферы, влажно-теплой промышленной атмосферы и т. д. В умеренном климате наиболее агрессивной считается промышленная атмосфера, затем — городская и наименее агрессивной — атмосфера сельских районов.

2. Методы защиты от коррозии алюминиевых радиаторов

К алюминиевому радиатору автотракторных двигателей, как и к другим узлам и деталям машины, предъявляются требования обеспечения работоспособности без коррозионных разрушений в течение 3—5 лет. Алюминевые радиаторы могут подвергаться интенсивной коррозии в процессе складского хранения; поэтому обычно оговариваются сроки, в течение которых недопустимо образование опасной коррозии при хранении радиаторов в складских условиях.

В настоящее время еще нет сложившегося мнения о вопросе, нужна ли коррозионная защита для алюминиевого радиатора. Имеются сведения [21, 30, 31, 32], что при соответствующем выполнении конструкции и правильной технологии изготовления коррозионная стойкость алюминиевых радиаторов оказывается вполне удовлетворительной.

К конструкции и технологии изготовления алюминиевых радиаторов с целью повышения их коррозионной стойкости предъявляются следующие требования.

Должны использоваться марки алюминиевых сплавов, обладающих высокой коррозионной стойкостью (алюминий высокой степени чистоты, алюминево-марганцевые и алюминево-магниеые сплавы).

При конструировании радиатора с целью предотвращения возникновения контактной коррозии следует использовать алюминевые сплавы для всех деталей радиатора, даже таких, как спускные краны и паровоздушные клапаны.

В случаях крайней необходимости применить другие металлы нужно использовать металлы, стоящие выше алюминия в ряду электрохимической активности; если все же применяются металлы, стоящие ниже алюминия, то следует наносить покрытия на те поверхности деталей, которые могут вызвать возникновение контактной коррозии (лучше всего покрытие алюминием). Возможно использование промежуточной изоляции в виде прокладок из непроводника между деталями, изготовленными из разнородных металлов. Уплотняющий материал должен перекрывать изолируемые поверхности, не иметь пор (не быть гигроскопичным) и яв-

ляться нейтральным по отношению к металлу уплотняемых поверхностей.

Наиболее опасной является точечная или язвенная коррозия стенок водяных каналов; поэтому рекомендуется не применять для изготовления трубок материалы малой толщины (менее 0,3—0,5 мм).

При конструировании алюминиевого радиатора следует избегать образования малых зазоров, карманов и щелей между поверхностями деталей, так как в них может развиваться «щелевая» коррозия, вследствие дифференциальной аэрации или постоянно образующегося контакта с накопившимися там агрессивными средами. Часто говорят, что алюминий разрушается главным образом в тех местах, где разрушение трудно заметить [28].

При конструировании гидравлического тракта радиатора следует предотвращать прямые удары струи на алюминиевые поверхности, так как это может привести к разрушению окисной пленки на поверхности металла и ускорению процесса коррозии.

При изготовлении алюминиевого радиатора необходимо избегать всяких повреждений и загрязнений поверхностей деталей в процессе изготовления, так как риски, царапины и т. д. в окисной пленке алюминия являются местами, в которых возникает коррозия. Следует придавать большое значение правильной организации хранения и транспортировки готовых изделий и полуфабрикатов. По той же причине при механической обработке алюминиевых деталей нельзя допускать вдавливания в их поверхности стружки других металлов, пыли и т. п.

Если в процессе изготовления радиатора используется химическая обработка деталей агрессивными средами, то необходимо обращать особое внимание на тщательность удаления (нейтрализации) этих сред, так как в процессе эксплуатации их остатки быстро приводят к выходу радиатора из строя.

Коррозионное поражение алюминиевого радиатора чаще всего происходит в результате случайных отклонений, допущенных при его изготовлении; поэтому следует отдавать предпочтение тем конструкциям радиаторов, которые обеспечивают простоту ремонта и замены вышедших из строя деталей.

При выполнении перечисленных выше требований вероятность возникновения коррозионных разрушений алюминиевого радиатора в огромном большинстве эксплуатационных условий будет значительно снижена.

С учетом многообразия эксплуатационных условий и отсутствия многолетнего опыта широкой эксплуатации алюминиевых радиаторов наиболее вероятное решение проблемы защиты радиаторов от коррозии должно состоять в следующем: основной выпуск радиаторов, предназначенный для эксплуатации в зонах с умеренным климатом и неагрессивными водами, не должен иметь специальных антикоррозионных покрытий; специальной обработке (нанесение защитных покрытий) должны подвергаться лишь

радиаторы, направляемые для эксплуатации в районы с повышенной агрессивностью коррозионных сред и на экспорт.

Необходима также разработка простого и дешевого метода нанесения временных покрытий для защиты от коррозии при транспортировке и хранении.

Кроме того, в ряде случаев может найти место применение ингибиторов, существенно замедляющих протекание процессов коррозии.

Защитные покрытия. Защитные покрытия предназначены для изоляции основного металла, из которого изготовлены детали радиатора, от коррозионной среды и предупреждения действия гальванических микроэлементов на его поверхности. Покрытия подразделяются на металлические, химические и органические.

Металлические покрытия для алюминия и его сплавов, используемых при изготовлении радиаторов, применяются в основном в виде плакировки. В качестве примера осуществления защитных покрытий методом плакировки можно привести использование американскими фирмами трехслойной алюминиевой ленты «Алкоа № 100» при изготовлении трубок и бацков паяных цельноалюминиевых радиаторов. Сердцевина этой ленты выполнена из сплава марки 3003, а сторона, омываемая жидкостью, имеет плакировку из алюминиевого сплава с 2,5% содержанием цинка. Покрытие является анодным по отношению к материалу основания ленты и, если будет происходить коррозия, то она сконцентрируется в тонком слое покрытия и не будет распространяться на материал основания. Это является примером использования по существу «жертвенной» или протекторной защиты [42].

Химическими покрытиями называются окисные пленки различного химического состава, образующиеся на поверхности металла. Технологический процесс нанесения химического покрытия следует рассматривать как организуемый искусственным путем процесс коррозии поверхности, выполняемый по заданному режиму и доведенный до заданного предела. При этом используются лишь те окислительные процессы, которые создают на поверхности металла плотную и равномерную окисную пленку, предохраняющую от дальнейшего окисления.

Существует несколько разновидностей химической обработки, которые могут получить применение при изготовлении алюминиевых радиаторов. Работа по выявлению сравнительной стойкости ряда химических покрытий была выполнена НИИХИМмашем в 1960—1962 гг.

Была испытана коррозионная стойкость пленок, полученных на пластинах из алюминиевого сплава АМц [12, 21] хроматированием, голубым оксидированием, фосфатированием и хромо-фосфатированием. Состав растворов и режимы обработки в них приведены в табл. 13.

Состав растворов для нанесения защитных пленок на детали радиатора из сплава АМц и режимы обработки в них

Вид обработки	Состав растворов и их концентрация, г/л						Режим обработки		Цвет защитной пленки
	Фосфорная кислота	Фтористый натрий	Хромовый ангидрид	Плавиновая кислота	Кремнефтористый натрий	Двухромовокислый калий	Температура, °С	Продолжительность, мин	
Фосфатирование	64	5	10	—	—	—	18—20	6—15	Бледно-золотистый
То же	12	3,1	3,6	—	—	—	18—20	6—15	То же
»	24	5,0	6,8	—	—	—	18—20	6—15	Золотисторадуужный
Фосфатное голубое оксидирование	50	—	7	4	—	—	18—20	10	Бледно-голубой
Хроматирование	—	—	5	—	5	—	18—20	10	Бурый
Хромосфатирование	111,5	1,82	—	—	—	30,3	46—48	60	Салатный

Непосредственно перед химической обработкой детали обезжиривались в растворе состава: тринатрийфосфат — 50 г/л; жидкое стекло — 30 г/л; едкий натр — 8 г/л. Температура раствора 45—50° С, продолжительность обезжиривания — 10 мин.

При некоторых способах нанесения защитных пленок, например, при хроматировании, производилась предварительная обработка детали в течение 10 мин в растворе, содержащем 250—260 г/л серной кислоты и 30 г/л хромового ангидрида при температуре 50° С.

Как показали испытания, наибольшей коррозионной стойкостью обладает хромосфатное покрытие, худшей — голубое оксидирование и хроматирование; наименее стойкое — фосфатное покрытие.

Для повышения стойкости наружных поверхностей паяных алюминиевых радиаторов американские фирмы используют так называемый процесс Литоформ; спаянный остов радиатора погружается в ванну с двухромовокислой солью. При такой обработке происходит [42], во-первых, удаление с поверхностей радиатора следов агрессивных флюсов, оставшихся после процесса пайки, во-вторых, повышение коррозионной стойкости поверхности радиатора.

Результаты лабораторных испытаний показали, что такая обработка повышает коррозионную стойкость латунно-алюминиевого радиатора на 80 %.

В связи со сложной конфигурацией изделия при коррозионной защите алюминиевых радиаторов весьма затруднительно использовать электрохимические методы нанесения покрытий; поэтому они почти не применяются.

Для внешних поверхностей радиаторов рекомендуются [42] органические покрытия (краски, лаки и т. п.). Они могут быть особенно эффективными в сочетании с одним из видов химических покрытий, так как сцепление (адгезия) краски с алюминием при этом улучшается.

Временные покрытия наносятся для защиты алюминиевых радиаторов при транспортировке или хранении и удаляются перед поступлением радиаторов в эксплуатацию.

Временные покрытия внешних и внутренних поверхностей радиаторов могут быть выполнены с помощью специальных гидрофобных или антикоррозионных эмальгирующихся масел, а также других присадок, добавляемых к охлаждающей воде. Масла не должны содержать щелочных присадок и не реагировать на резиновые детали (патрубки, клапаны и т. п.) системы охлаждения.

Ингибиторы. Ингибитором (замедлителем) коррозии называется вещество, которое при введении (обычно в малых количествах) в коррозионную среду заметно снижает скорость коррозии. Ингибиторы не являются универсальным средством защиты, а специально подбираются для данных условий работы (пара: металл — коррозионная среда). В системах охлаждения ингибиторы часто одновременно являются противонакипными присадками к охлаждающей воде, т. е. присадками, препятствующими образованию накипи на внутренних поверхностях радиатора и других элементов системы.

Интенсивность действия ингибиторов определяется коэффициентом торможения

$$U := \frac{k'_g}{k_g}$$

или величиной процентного снижения коррозии

$$\Delta U := \frac{k'_g - k_g}{k'_g} 100,$$

где k'_g — скорость коррозии в агрессивной среде без ингибитора, $г/м^2 \cdot ч$;

k_g — скорость коррозии в агрессивной среде с ингибитором, $г/м^2 \cdot ч$.

В настоящее время ингибиторы начинают все шире применяться для защиты от коррозии и накипеобразования в системах охлаждения автотракторных, тепловозных и стационарных двигателей внутреннего сгорания.

Институт НИИАТ рекомендует [10] в качестве ингибитора коррозии и накипеобразования гексаметафосфат натрия (NaPO_3)₆, так называемый гексамет, который добавляется в охлаждающую воду при заливке ее в радиатор в количестве 5—6 мг на 1 л. Гексамет снижает образование коррозии и накипи в системах охлаждения автомобильных двигателей на 40—45%. Большой опыт применения ингибиторов в системах охлаждения двигателей накоплен также в Англии, США и др.

По данным ряда работ [10, 11, 28], эффективными ингибиторами для систем охлаждения являются хроматы и бихроматы (K_2CrO_4 и $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), бура, фосфат триэтаноламина, анилинфосфат и нитрит натрия (NaNO_2). Хорошим способом защиты от коррозии деталей систем охлаждения является применение двуххромовокислого калия (хромпика) в количестве 0,25%, что почти полностью устраняет коррозию [11]. Однако широкое применение хромпика ограничивается, во-первых, тем, что он ядовит (его попадание в виде пыли на кожу и слизистые оболочки может вызвать заболевание) и, во-вторых, тем, что он относительно дефицитен.

Большинство из перечисленных присадок образуют на поверхности металла защитную пленку, чем снижается интенсивность коррозии. Действие ингибиторов против образования накипи, являющейся чаще всего солями кальция и магния, проявляется в выделении из воды вместо накипи рыхлого шлама, который легко удаляется промывкой системы охлаждения водой. В других случаях ингибиторы переводят ионы кальция и магния охлаждающей воды в растворимые соединения, не образующие отложений на поверхностях металла.

Наконец, еще одним способом защиты от коррозии алюминиевых деталей систем охлаждения является введение в охлаждающую воду машинного масла в количестве 0,5—1,5% по объему. При работе двигателя и, следовательно, при циркуляции воды и повышении ее температуры образуется масляная эмульсия. На омываемых ею поверхностях адсорбируется тонкая масляная пленка [28], которая и препятствует коррозии. Кроме того, масляная эмульсия предохраняет внутренние поверхности системы охлаждения от отложения накипи. Следует учитывать, однако, что при использовании в качестве ингибитора машинного масла резиновые детали системы охлаждения должны быть изготовлены из маслостойкой резины.

ГЛАВА V

ИСПЫТАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ РАДИАТОРОВ

Постановке алюминиевого радиатора на производство должен предшествовать комплекс исследовательских работ и различных испытаний; это обусловлено отсутствием в настоящее время достаточного опыта в конструировании и в технологии изготовления алюминиевых радиаторов того или иного типа. В связи с тем, что радиатор как теплообменник является элементом системы охлаждения автотракторного двигателя, работающего при постоянно изменяющихся нагрузке, оборотах и в различных климатических условиях, одной из целей указанных выше работ должно быть определение соответствия создаваемого радиатора условиям его работы на данном автомобиле или тракторе. Другой целью проводимых исследовательских работ и испытаний является обеспечение заданного срока службы радиатора. В конечном результате всех сделанных работ должны быть даны рекомендации о постановке алюминиевого радиатора на производство.

Испытания алюминиевых радиаторов подразделяются: на лабораторные, лабораторно-дорожные непосредственно на автомобилях и тракторах и эксплуатационные.

В процессе лабораторных испытаний могут проводиться:

- а) испытания моделей радиаторов в аэродинамической трубе;
- б) испытания радиаторов в аэродинамической трубе;
- в) испытания гидравлического тракта радиаторов;
- г) испытания на моторном стенде;
- д) испытания на беговых барабанах или в «горячем туннеле»;
- е) испытания на прочность и плотность;
- ж) коррозионные испытания и др.

Как показывает опыт, обычно объем испытаний, предшествующих внедрению алюминиевых радиаторов в производство, оказывается весьма значительным. Например, в процессе создания в Германии (1943—1944 г.) промышленной конструкции алюминиевых радиаторов для авиационных двигателей только в аэро-

динамической трубе было испытано свыше 200 различных моделей радиаторов.

Ниже приводятся описания основных видов испытаний, применяемых при создании алюминиевых радиаторов автотракторных двигателей.

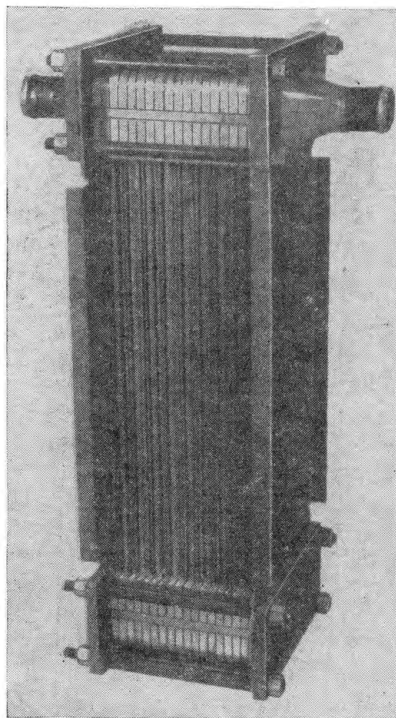
1. Испытания в аэродинамической трубе

В аэродинамической трубе проводятся испытания моделей радиаторов или целых радиаторов.

Под моделью радиатора понимается часть сердцевины радиатора, вырезанная по размерам живого сечения аэродинамической трубы.

Модели имеют поверхность охлаждения, полностью соответствующую по форме и величине геометрических показателей (d , S_1 , S_2 и т. д.) поверхности охлаждения целого радиатора; конструкция остальной арматуры определяется условиями установки модели в трубе. Модель алюминиевого радиатора секционного типа, предназначенная для испытаний в аэродинамической трубе, представлена на фиг. 76. Модель выполнена двухзаходной по воде с целью получения при испытании большого диапазона скоростей по воде.

Испытания моделей выполняются с целью определения характеристик данной конструкции поверхности охлаждения и получения таким образом основы для расчета радиаторов различного назначения. Обычно при этих испытаниях определяется и анализируется как влияют на тепловые и аэродинамические показатели поверхностей охлаждения следующие факторы: геометрические характеристики поверхностей охлаждения, глубина радиатора, вид материала, из которого изготавливаются элементы поверхности охлаждения, технологический процесс изготовления радиатора и т. п.



Фиг. 76. Модель алюминиевого радиатора секционного типа, предназначенная для испытаний в аэродинамической трубе.

Существует несколько схем и конструкций аэродинамических труб, используемых для испытаний моделей радиаторов; в частности, могут быть использованы трубы как со всасывающим, так и с нагнетающим вентилятором.

На фиг. 77 приведена одна из возможных схем аэродинамической трубы для испытания моделей радиаторов.

В воздушный контур стенда входит собственно аэродинамическая труба, вентилятор с электромотором, воспроизводящий поток воздуха через модель радиатора, и измерительная аппаратура. Рабочая часть трубы состоит из двух измерительных участков: переднего и заднего, между которыми устанавливается модель радиатора. В переднем измерительном участке производятся замеры скорости воздуха в трубе, статического давления, температуры входящего воздуха. В заднем участке — статического давления и температуры воздуха, проходящего через радиатор.

Для замеров скорости воздуха используются трубка Прандтля или трубка Пито, смонтированные в подвижном координатнике и соединенные с микроманометром.

В задней части аэродинамической трубы устанавливается решетка для выравнивания поля скоростей воздуха. Расход воздуха в трубе регулируется изменением числа оборотов электромотора или с помощью дроссельной заслонки.

В водяной контур стенда входят: водоподогреватель; водяной насос с электромотором; устройство для замера расхода воды — чаще всего мерные баки или весы; расширительный и напорный баки, арматура (трубопроводы, вентили и пр.) и измерительная аппаратура. Часто водяной контур оборудуется терморегулятором, автоматически обеспечивающим постоянство температуры воды, поступающей в модель. В водяном контуре производятся замеры: температуры воды до и после модели, а также расхода воды.

Испытания моделей и радиаторов в аэродинамической трубе проводятся в условиях, приближающихся к идеализированным, т. е. с равномерным характером движения воздушного и водяного потоков через модель; эти условия в значительной мере отличаются от условий работы радиатора на автомобиле или тракторе, где скорость воздуха и воды в разных точках радиатора может быть весьма различной (фиг. 12).

Испытания в аэродинамической трубе выполняются по двум направлениям:

- 1) изменяется скорость воздуха при постоянном значении скорости воды в трубах радиатора;
- 2) изменяется скорость воды в трубках при постоянном значении скорости воздуха перед фронтом радиатора.

Во время испытаний показания всех приборов снимаются после достижения установившегося теплового режима, что определяется по стабилизации температур воды на входе и выходе из радиатора в течение 10—15 мин.

Теплоотдача радиатора может быть определена по количеству тепла, отданному водой:

$$Q_W = G_W c_{p_W} (t'_W - t''_W) \quad (71)$$

или по количеству тепла, полученному воздухом,

$$Q_L = G_L c_{p_L} (t''_L - t'_L). \quad (72)$$

Естественно, что в идеальном случае обе эти величины равны, т. е. $Q_W = Q_L$. Однако в действительности разница в величинах Q_W и Q_L при проведении экспериментов может достигать 10—15%. Это объясняется трудностью определения температуры воздуха в заднем измерительном участке трубы из-за неравномерности температурного поля, а также целым рядом неизбежных причин (тепловое излучение, потери тепла через подводящие трубы и коллекторы и т. п.). Поэтому большинство экспериментаторов в настоящее время предпочитает определять теплоотдачу по формуле (71).

При обработке результатов испытаний производится расчет удельного веса воздуха, средней скорости воздуха перед фронтом радиатора, расчетной температуры воздуха за радиатором, коэффициента аэродинамического сопротивления и среднего коэффициента теплопередачи.

Для уменьшения трудоемкости расчетов в настоящее время все чаще производится программирование и обработка опытных данных на электронно-счетных машинах.

В результате испытаний модели радиатора в аэродинамической трубе получают основные исходные характеристики данной поверхности охлаждения, а именно: средний коэффициент теплопередачи как функцию от скорости воздуха перед фронтом и скорости воды в каналах и аэродинамическое сопротивление как функцию от скорости воздуха перед фронтом. Эти характеристики, как уже говорилось выше, аналитически представляются уравнениями (22) и (33), а графически изображаются прямой линией при построении их в логарифмических координатах. Поэтому очень удобно при обработке результатов испытаний использовать специальную логарифмическую бумагу, что значительно упрощает построение графиков и дает возможность непосредственно при их вычерчивании видеть случайные результаты и ошибки, а также весьма просто определить значения характеристических коэффициентов (см. фиг. 5).

Полученные при испытаниях в аэродинамической трубе исходные характеристики являются основой для построения системы показателей, служащих для оценки поверхностей охлаждения и расчета радиаторов.

Наряду с испытаниями в аэродинамической трубе моделей радиаторов широкое распространение получили подобные испытания целых радиаторов. Установки для таких испытаний имеются на

многих крупных заводах автотракторной промышленности, которые используют их в качестве обязательного этапа доводки конструкций радиаторов [33].

При испытаниях радиаторов в аэродинамической трубе решается ряд вопросов и, в первую очередь, проверка правильности проведенного расчета радиатора, т. е. расчета, который был выполнен по данным, полученным при испытании моделей.

Весьма важной задачей является проверка качества изготовления радиатора и влияние на его характеристики различных технологических отклонений и, в частности, в радиаторах паяной конструкции качества соединения трубок с оребрением.

В аэродинамической трубе производится также проверка радиаторов, находящихся и в эксплуатации. После определенного пробега автомобиля выясняется, как изменяются характеристики радиатора, не нарушается ли контакт между трубками и оребрением, как влияет на характеристики загрязненность внутренних и внешних поверхностей и т. п.

2. Испытания гидравлического тракта радиаторов

В связи с разработкой принципиально новых конструкций алюминиевых радиаторов, отличающихся формой, размерами и геометрией гидравлического тракта, а также в связи с необходимостью повышения эффективности радиаторов создаваемых на базе существующих конструкций за последние годы актуальными стали испытания гидравлического тракта радиаторов.

Испытания проводятся с целью определения:

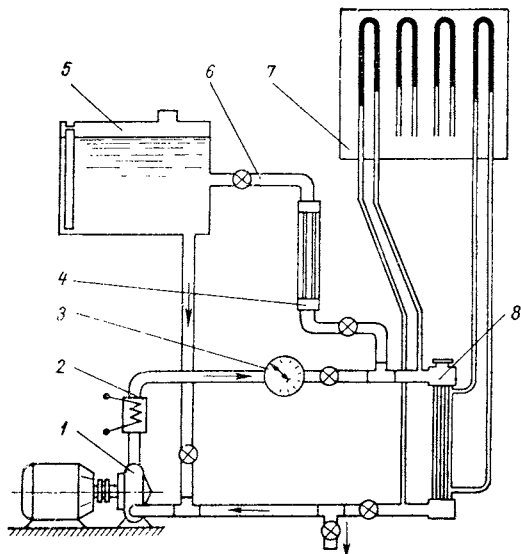
- а) общего гидравлического сопротивления радиатора;
- б) гидравлического сопротивления отдельных элементов тракта радиатора;
- в) равномерности распределения воды по сердцевине радиатора;
- г) паро- и воздухоотделения в радиаторе.

Испытания гидравлического тракта производятся на стенде, одна из возможных схем которого приведена на фиг. 78. Стенд имеет два гидравлических контура — основной и тарировочный. В основной контур входят: центробежный насос, имеющий привод от электромотора, соединительные трубопроводы, вентили, расширительный бачок с водомерным стеклом и измерительная аппаратура. В основной контур включается испытуемый радиатор. Тарировочный контур отводится от основного и служит для тарировки элементов испытуемого радиатора. Стенд имеет подогревательное устройство, включенное в цепь циркуляции.

Испытуемый радиатор оборудуется трубками отбора давления, которые устанавливаются в определенных местах гидравлического тракта радиатора.

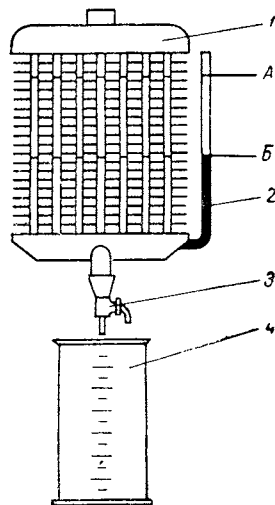
В процессе работы стенда производятся замеры: расхода воды, статического давления в различных точках тракта и температуры

воды. Испытания ведутся при различных расходах воды через радиатор, общее гидравлическое сопротивление замеряется по перепаду статических давлений в трубопроводах непосредственно при входе в радиатор и выходе из него. Аналогично замеряются местные сопротивления тракта радиатора. Оценка степени неравномерности распределения скорости воды по отдельным трубкам радиатора производится с помощью коэффициента неравномерности, определяемого по формуле (42).



Фиг. 78. Схема стенда для испытания гидравлического тракта радиаторов:

1 — водяной насос с электромотором; 2 — подогревательное устройство; 3 — расходомер; 4 — тарированная секция; 5 — расширительный бачок; 6 — тарировочный контур; 7 — дифференциальные манометры; 8 — испытуемый радиатор.



Фиг. 79. Метод определения площади живого сечения радиатора по воде.

Для обработки результатов испытаний в аэродинамической трубе и испытаний гидравлического тракта радиатора необходимо знать величину площади живого сечения по воде, которая позволяет по измеряемому в процессе проведения испытаний расходу воды через радиатор определить ее среднюю скорость.

Определение площади живого сечения по воде расчетным путем по чертежным размерам обычно дает значительные погрешности. Поэтому лучше использовать способ, показанный на фиг. 79. Испытуемый радиатор 1 оборудуется водомерным стеклом 2, соединенным с нижним бачком. Радиатор заполняется водой до некоторого уровня А и затем через кран 3 вода спускается в мерный цилиндр 4. Разделив полученный объем воды на разность уровней А и В, получим величину площади живого сечения радиатора по воде.

вается всеми штатными потребителями мощности: генератором, воздушным компрессором, вентилятором и пр.

Во время испытаний определяются: число оборотов, мощность и крутящий момент двигателя, температура воды на входе и выходе из радиатора, температура воздуха, входящего в радиатор, и температура масла двигателя. Испытания проводятся по внешней характеристике двигателя, т. е. получают значения максимальной мощности при различных числах оборотов двигателя.

Полученные при испытании значения температур обрабатываются по формуле (58) и результаты испытаний оформляются в виде графика зависимости $t_{кр} = f(n)$.

Из полученного таким образом графика можно видеть при каких максимальных температурах наружного воздуха система охлаждения с испытуемым радиатором обеспечивает работоспособность трактора.

Испытания радиатора на автомобиле, установленном на беговых барабанах. Некоторые автомобильные заводы, и в частности автозавод им. Лихачева, проводят испытания радиаторов на автомобиле, установленном на беговых барабанах. При указанных испытаниях двигатели автомобилей работают с полностью открытой дроссельной заслонкой, скорости имитируемого движения автомобилей лежат в пределах 35—45 км/ч. Испытания начинаются при температуре выходящей из двигателя воды 70° С и температуре масла в двигателе 65—70° С. Замеры величин при испытаниях проводятся через каждые 5 мин до стабилизации температуры воды, выходящей из двигателя, или начала ее кипения.

Критерием оценки качества радиатора является время, прошедшее до закипания воды в системе охлаждения или, если закипания не произошло, то уровень стабилизировавшейся температуры воды, выходящей из двигателя.

Указанные испытания являются недостаточно точными и могут быть проведены лишь для сравнения нескольких радиаторов в одинаковых условиях. Кроме того, при их проведении не получается имитации условий работы радиатора при движении автомобиля из-за отсутствия потока набегающего воздуха.

Испытания радиатора на автомобиле в «горячем туннеле». Наиболее совершенным оборудованием лабораторного типа, которое в настоящее время используется для испытаний радиаторов непосредственно на автомобиле, является установка, называемая «горячим туннелем».

Установки такого типа, несмотря на их высокую стоимость, сооружены рядом фирм, производящих радиаторы и, в частности, фирмами «Харрисон», «Форд» и «Модин» (США), «Шоссон» (Франция) и т. д.

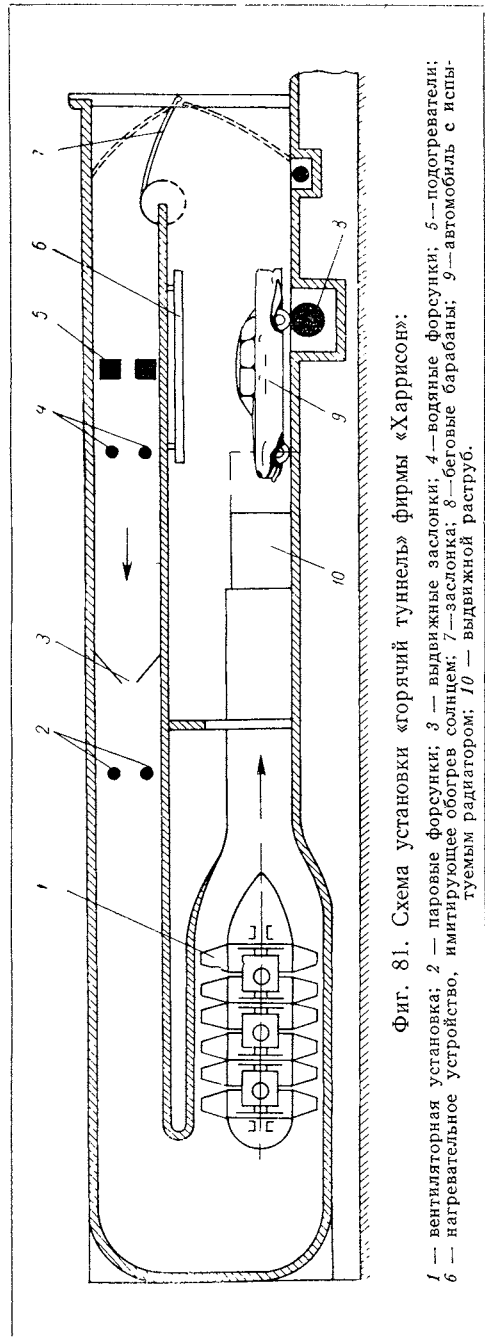
Одна из этих установок (фиг. 81) [33] выполнена в виде замкнутой аэродинамической трубы, состоящей из двух соединенных

между собой параллельных туннелей, расположенных один над другим. Общая длина установки достигает 48 м.

В нижнем туннеле на тормозном стенде с беговыми барабанами устанавливается автомобиль с испытуемым радиатором. Мощность на ведущих колесах измеряется с помощью электрических тормозов, соединенных с беговыми барабанами.

Воздушный поток, набегающий на автомобиль, создается шестью вентиляторами, которые скомпонованы в три установки. Каждая пара вентиляторов имеет привод от электродвигателя постоянного тока мощностью 73 кв с плавно регулируемой скоростью вращения. Вентиляторы имеют диаметр свыше 3 м и установлены в нижнем туннеле. Вентиляторы подают воздух к передней части автомобиля через специальный расступ, прямоугольного сечения. Выходной конец раструбы может перемещаться и устанавливаться на разном расстоянии от тормозного стенда, что позволяет проводить испытания радиаторов на автомобилях, имеющих различную колесную базу.

В верхнем туннеле имеются выдвижные заслонки, играющие вспомогательную роль при регулировании скорости воздушного



Фиг. 81. Схема установки «горячий туннель» фирмы «Харрисон»:

1 — вентиляторная установка; 2 — паровые форсунки; 3 — выдвижные заслонки; 4 — водяные форсунки; 5 — подогреватели; 6 — нагревательное устройство, имитирующее обогрев солнцем; 7 — заслонка; 8 — беговые барабаны; 9 — автомобиль с испытуемым радиатором; 10 — выдвижной расступ.

потока в трубе. Наличие указанных заслонок и плавного регулирования скорости вращения вентиляторов обеспечивает изменение скорости воздушного потока, набегающего на автомобиль, в пределах от 2,5 до 50 м/сек (8—180 км/ч).

В конце нижнего туннеля установлена заслонка, имеющая электрический привод. Эта заслонка автоматически регулирует циркуляцию воздуха в аэродинамической трубе: из нижнего туннеля воздух либо направляется в верхний туннель, либо частично выбрасывается в атмосферу. При этом в верхний туннель поступает соответствующее количество свежего воздуха.

В верхнем туннеле установлены паровые подогреватели воздуха, позволяющие автоматически поддерживать температуру циркулирующего воздушного потока в пределах от температуры наружного воздуха до +52° С. Влажность воздуха, циркулирующего в установке, регулируется впрыском через специальные форсунки воды и пара в воздушный поток и автоматически поддерживается в заданных пределах.

В нижнем туннеле непосредственно в зоне установки автомобиля имеется устройство, имитирующее обогрев солнцем. Это — набор инфракрасных нагревательных ламп, расположенных на расстоянии 1,2 м от автомобиля.

Наличие описанных выше устройств позволяет в лабораторных условиях с высокой степенью точности воспроизвести необходимое для каждого конкретного испытания воздействие воздушного потока, теплового излучения и относительной влажности.

Установка оборудована аппаратурой для измерения температур: воздушного потока в различных местах туннеля, воздуха перед фронтом радиатора и в подкапотном пространстве, воздуха на входе в карбюратор, воды на входе и выходе из радиатора, масла в картере двигателя и в масляном радиаторе и др.

Установка позволяет поддерживать при проведении испытаний постоянными в течение до одного часа величины измеряемых параметров. Это означает, что здесь может быть достигнута самая высокая точность по сравнению с другими методами подобных испытаний радиаторов.

Испытания системы охлаждения на установке «горячий туннель» состоят из нескольких этапов. Первым этапом является проверка теплоотдачи от двигателя в воду. Следующие этапы испытаний проводятся с целью определения критической температуры воздуха. Имитируемые режимы испытаний: движение с полной нагрузкой при скоростях 64, 96 и 128 км/ч; движение на подъем крутизной 7,2% со скоростями 40, 64 и 96 км/ч и движение по горизонтальной дороге с частичной нагрузкой при скоростях 40, 80, 112 и 144 км/ч. Последним этапом являются испытания на холостом ходу, которые ведутся без обдува при температуре воздуха +38° С и обогреве автомобиля сверху нагревательными лампами.

4. Испытания радиаторов на плотность и прочность

Испытания на плотность (герметичность). Испытания на плотность обычно производятся в процессе изготовления радиатора и сдачи его по техническим условиям завода-изготовителя. Кроме того, такие испытания часто производятся как контрольные операции при проведении других испытаний радиатора, например после проведения цикла вибрационных испытаний и т. п. Испытания на плотность производятся чаще всего сжатым воздухом в водяной ванне. Перед испытанием все отверстия радиатора закрываются специальными разжимающимися резиновыми пробками, одна из которых имеет наконечник для воздушного шланга. Радиатор погружается в водяную ванну и к нему подводят сжатый воздух давлением $0,8—1,2 \text{ кг/см}^2$. Дефектные места обнаруживаются по выделяющимся пузырькам воздуха.

При испытаниях радиаторов на прочность вводится операция опрессовки радиатора гидравлическим прессом при давлении до 3 кг/см^2 . Такие испытания позволяют проверить прочность и плотность всех соединений радиатора и правильность его сборки. В процессе опрессовки часто производится замер индикатором деформаций деталей радиатора. Запись показаний индикатора выполняется при изменяющемся внутреннем давлении через каждые $0,1 \text{ кг/см}^2$.

Термостатические испытания. Термостатические испытания проводятся для определения влияния на прочность и плотность алюминиевого радиатора быстрой смены температур, т. е. теплового удара. Испытания могут иметь также и специальные цели: определение стойкости органических веществ, используемых для сборки радиатора; определение стойкости антикоррозионных покрытий и т. п. Одним из назначений испытаний может явиться определение надежности контакта между трубками и оребрением, особенно в тех случаях, когда этот контакт является чисто механическим.

Термостатические испытания проводятся в специальном шкафу. Через внутренние полости радиатора поочередно пропускают пар и холодную воду.

Примерный режим испытаний: время нагрева — 10 мин , температура нагрева — $+110^\circ \text{C}$, время охлаждения — 10 мин , температура охлаждения — $+5 \div 15^\circ \text{C}$ (температура водопроводной воды), количество циклов — 100 .

После окончания испытаний радиатор просушивают, подвергают осмотру и проверяют на герметичность. Если это предусмотрено программой испытаний, радиатор устанавливается в аэродинамическую трубу для снятия тепловых и аэродинамических характеристик.

В специальных случаях, когда необходимо более глубокое охлаждение, могут быть использованы углекислота и сжиженные газы.

Динамические испытания на прочность (испытания на усталость). Работа радиатора на машине характеризуется наличием тряски и вибраций (низко- и высокочастотных), что в конце концов приводит к усталостным разрушениям материала. С целью предварительного установления срока службы новой конструкции радиатора или контроля качества серийно выпускаемой продукции производятся лабораторные динамические испытания на прочность и усталость.

Подобные испытания обычно проводятся на специально оборудованных вибростанках и носят сравнительный характер.

В процессе лабораторных испытаний на усталость нагрузки должны соответствовать эксплуатационным нагрузкам.

Применяемое оборудование должно обеспечивать поддержание заданного режима с минимальным допуском установленных величин, а также непрерывный контроль, обеспечивающий автоматическое прекращение испытаний при появлении повреждений.

Испытания в лаборатории по возможности должны ограничиваться определенным отрезком времени; при этом наиболее выгодная продолжительность испытаний до появления повреждения может составлять около 1 млн. циклов.

Испытания на усталость предусматривают три этапа:

1) определение величины и характера нагрузок на испытуемый радиатор при его эксплуатации на данном автомобиле или тракторе;

2) проведение испытаний опытной партии радиаторов при наиболее характерных режимах, причем для получения надежных результатов необходимо не менее десяти образцов.

3) статистическая обработка результатов испытаний с целью получения соответствующих параметров.

За параметр, оценивающий усталостную стойкость образцов радиаторов, принимается коэффициент надежности

$$\sigma = \frac{\bar{n}}{n_{эм}}, \quad (73)$$

т. е. отношение среднего числа колебаний до появления повреждений в испытанной партии радиаторов к такому же числу колебаний эталона. За эталон обычно принимается находящийся на производстве медный радиатор, надежность которого проверена значительным сроком эксплуатации большого количества образцов.

Чехословацкий научно-исследовательский институт автомобильной промышленности УВМВ применяет для испытаний на усталость радиаторов легковых автомобилей следующий режим [35]: частота колебаний 1100 кол/мин; амплитуда 13,5 мм; вертикальное ускорение $\pm 3g$; горизонтальное ускорение $\pm 9g$; рабочая продолжительность цикла испытаний 16 ч; избыточное давление внутри радиатора при испытаниях 0,5 кг/см².

Испытания радиаторов производятся на вибростанке, обеспечивающем колебания как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. Станок оборудован специальным электрическим контуром, который обеспечивает выключение электропривода станка в случае повреждения радиатора, что позволяет проводить испытания непрерывно и не требует большого внимания со стороны обслуживающего персонала.

5. Коррозионные испытания

Самым надежным видом испытаний, позволяющим установить коррозионную стойкость алюминиевого радиатора, являются испытания радиаторов в реальных эксплуатационных условиях. Однако такие испытания обычно продолжительны и поэтому при создании алюминиевых радиаторов широко используются различные методы лабораторных испытаний, в том числе и ускоренные, в искусственно созданных коррозионных средах. Следует иметь в виду, что подобные ускоренные испытания могут лишь частично воспроизвести воздействие естественных эксплуатационных условий, и поэтому к их результатам следует относиться с известной осторожностью, особенно при прогнозах срока службы радиатора.

В настоящее время не существует общепринятых методов лабораторных испытаний алюминиевых радиаторов на коррозионную стойкость и поэтому чаще всего каждое предприятие, занимающееся их разработкой, применяет свои собственные методы. Целью лабораторных испытаний обычно является предварительное определение: 1) сравнительной стойкости различных материалов и защитных покрытий на поверхности металла в водах с разной степенью агрессивности, антифризе и различных атмосферах; 2) влияния на интенсивность коррозии ингибиторов; 3) правильности принятых решений по конструкции алюминиевого радиатора (толщина стенок каналов, влияние уплотняющего материала, влияние контакта неоднородных металлов и т. п.).

В качестве показателей коррозионного поражения материалов, используемых для изготовления алюминиевых радиаторов, принимаются: потеря веса образцов, глубина проникновения коррозии и число очагов коррозии на 1 см^2 поверхности.

Потери веса образцов определяются по формуле [27]:

$$k_g = \frac{g_0 - g_1 + \Delta g_1}{g_0 F} \text{ г/м}^2, \quad (74)$$

где k_g — потери веса, г/м^2 ;

g_0 — вес образца в исходном состоянии, г;

g_1 — вес образца после снятия продуктов коррозии, г;

Δg_1 — потери веса основного металла в растворе для снятия продуктов коррозии, г;

F — общая площадь поверхности образца, м^2 .

Снятие продуктов коррозии с поверхности алюминиевых сплавов рекомендуется производить путем помещения деталей на 2 ч в раствор состава: 200 мл H_3PO_4 + 80 г Cr_2O_3 на 1 л воды.

Глубина проникновения коррозии может определяться непосредственными замерами с помощью прибора, показанного на фиг. 82. Это индикаторная головка, к которой присоединены тонкая металлическая игла и опорные ножки, при замере устанавливаемые на участке поверхности металла, не подвергавшиеся коррозии.

Число очагов коррозии на 1 см^2 поверхности определяется непосредственным подсчетом.

При лабораторных исследованиях образцов часто применяются металлографические методы исследования, которые дают возможность получить сведения о механизме коррозионного разрушения металла или покрытия.

Статические коррозионные испытания образцов материалов и элементов конструкции алюминиевых радиаторов проводятся в сосудах в условиях полного или частичного погружения в различные синтетические растворы, близкие по составу к воде, характерной для различных районов земного шара. Эти испытания включают в себя:

Фиг. 82. Прибор для определения глубины коррозионных поражений.

- а) испытания при постоянной и циклически изменяющейся по определенному закону температуре, а иногда и давлению;
- б) испытания с регулируемой аэрацией для наблюдения за совместным влиянием на коррозию воздуха и тепла;

в) испытания с циркуляцией образцов относительно раствора и без циркуляции;

г) испытания с периодическим погружением образцов в раствор и т. п.

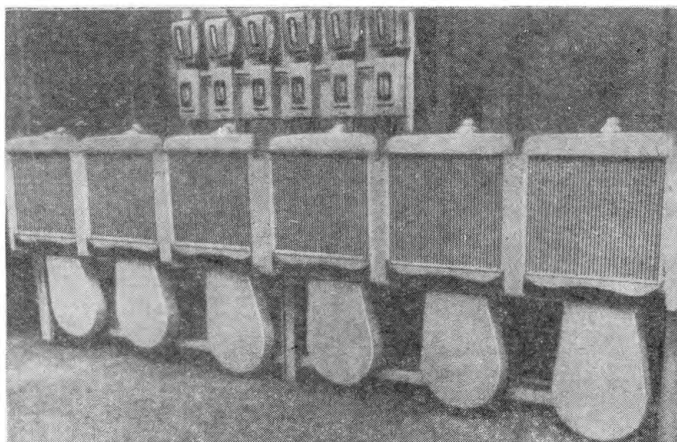
Продолжительность испытаний обычно устанавливается в 500—1000 ч, однако в отдельных случаях время испытаний может быть значительно увеличено.

На фиг. 83 показан общий вид шестисекционного стенда для коррозионных испытаний гидравлического контура алюминиевых радиаторов при циркуляции в них воды различной степени агрессивности и антифризов, а также жидкостей с ингибиторами [33].

При испытаниях на отечественных предприятиях алюминиевых радиаторов в качестве наиболее агрессивной воды обычно используется синтетическая вода, по солевому составу близкая

к составу воды реки Ишим. Для получения синтетической воды в дистиллированную воду добавляют соли (в г/л): углекислый кальций — 0,012; углекислый магний — 0,075; сернокислый кальций — 0,261; сернокислый магний — 0,290; хлористый натрий — 0,867; хлористый калий — 0,002; азотнокислый натрий — 0,035; азотнокислый натрий — 0,700 и аммиак — 0,001.

Каждая секция стенда указанного типа включает испытуемый радиатор, водяной насос с приводом от электромотора, водяной



Фиг. 83. Стенд фирмы «Харрисон» для определения влияния на коррозионную стойкость алюминиевых радиаторов при циркуляции в них различных охлаждающих жидкостей.

бак, снабженный нагревательным устройством с терморегулятором, виброустройство для имитации условий работы радиатора на машине и соединительных трубопроводов. Иногда, если ставится целью исследование взаимного влияния различных материалов, из которых изготовлены элементы системы охлаждения, вместо бака устанавливается блок серийного двигателя. Стенд оборудован пультом, с которого производится контроль и управление температурой и скоростью циркуляции жидкости. Суточный цикл работы стенда обычно имитирует работу системы охлаждения в эксплуатационных условиях: разогрев с циркуляцией, циркуляция при температуре 70—90° С, остывание без циркуляции и «стоянка» при температуре помещения (15—20° С). Продолжительность указанных испытаний зависит от поставленной цели и может составлять 3 года.

Испытания с имитацией условий, существующих с наружной стороны радиатора при его эксплуатации, производятся в специальных камерах, в которых задается определенный режим по влаж-

ности и температуре среды. Иногда эти испытания сопровождаются периодическим обрызгиванием (пульверизацией) радиатора различными растворами чаще всего растворами поваренной соли (NaCl).

Так, например, фирма «Рейнольдс» [42] испытывает радиаторы в камере со 100% влажностью воздуха. Температура в камере — $+60^{\circ}\text{C}$. При испытаниях периодически производится обрызгивание образцов радиаторов раствором хлористого кальция концентрации от 0,5 до 20%.

6. Испытания радиаторов в дорожных условиях

Испытания в дорожных условиях являются заключительным звеном в процессе доводки радиатора, которые дают возможность получить окончательную оценку его пригодности для определенного автомобиля.

Перед началом испытаний автомобиль, на который устанавливается испытуемый радиатор, проходит подготовку, включающую проверку технического состояния автомобиля и оборудование его необходимыми измерительными приборами.

В настоящее время существует несколько методов испытаний радиаторов в дорожных условиях, применяющихся в отечественной и зарубежной практике.

Испытания на участках дороги равнинного профиля. Испытания в случае отсутствия полигона производятся на специально выбранной трассе, качество которой в большой степени влияет на правильность получаемых результатов.

Основные требования к испытательной трассе:

а) протяженность трассы должна составлять 20—30 км в одну сторону;

б) дорожное покрытие должно быть твердым и в хорошем состоянии (асфальт или бетон);

в) трасса должна быть по возможности прямолинейной и горизонтальной: не допускается наличие резких поворотов, а также подъемов и спусков крутизной более 1,0%;

г) для уменьшения влияния бокового ветра на получаемые результаты желательно, чтобы трасса была защищена лесонасаждениями;

д) должна быть обеспечена безопасность работы испытываемых автомобилей на любых скоростях, вплоть до максимальных, для этого на трассе не должны быть какие-либо ограничения скорости, движение транспорта и пешеходов должно быть малоинтенсивным;

е) вблизи трассы должны находиться площадки для проведения технического обслуживания автомобиля и выполнения монтажно-демонтажных работ.

Ряд фирм [46] рекомендует использовать для испытания систем охлаждения кольцевые трассы, на которых автоматически исключается влияние ветра.

Испытания радиаторов производятся на автомобилях, движущихся с частичной или полной подачей топлива.

Движение автомобиля с частичной подачей топлива является одним из наиболее характерных режимов работы автомобиля. В процессе испытаний автомобиль движется с равномерной скоростью до тех пор, пока температуры воды на входе и выходе из радиатора не стабилизируются; то же относится и к температуре масла в картере двигателя. Показания приборов регистрируются через каждый километр пути. Обычно при испытаниях скорости автомобиля выбираются от 30 км/ч до максимальной через каждые 10 км/ч.

Испытания повторяются не менее двух раз и производятся при заездах по трассе в противоположных направлениях. Влияние ветра исключается осреднением результатов. Результаты испытаний для каждого случая представляются в виде зависимости критической температуры от скорости движения автомобиля.

Испытания при полной подаче топлива проводятся в основном подобным же образом, нагрузка на испытуемый автомобиль осуществляется путем буксировки динамометрической машины или другого автомобиля. При этом динамометрическая машина задает определенный режим сопротивления движению. В случае буксировки необорудованного автомобиля нагрузка создается при помощи колесных тормозов и двигателя буксируемого автомобиля. Такой метод испытания на трассе позволяет в широком диапазоне имитировать различные значения коэффициента сопротивления качению f .

Рекомендуемые минимальные значения критических температур воздуха для систем охлаждения грузовых автомобилей приведены в табл. 14 [43]. Автомобили имеют как стандартную, так и форсированную систему охлаждения, т. е. систему охлаждения, предназначенную для работы в условиях жаркого климата. Этими же фирмами рекомендуются для армейских автомобилей, используемых при более широком диапазоне температур окружающего воздуха и дорожных условий, критические температуры воздуха не ниже 52°С при работе двигателя на режиме максимального крутящего момента.

Крайним случаем испытания системы охлаждения в дорожных условиях при максимальной подаче топлива являются испытания на максимальной скорости. Такие испытания иногда выполняются

Таблица 14

Минимальные критические температуры воздуха для систем охлаждения грузовых автомобилей при движении с полной подачей топлива (°С)

Грузоподъемность автомобиля, т	Стандартная система	Форсированная система
До 1,5	27—31	35—38
1,5—2,0	31—35	39—43
Свыше 2,0	35—38	43—46

при определении работоспособности элементов системы охлаждения и, в частности, радиатора на легковых автомобилях. Фирма «Шевроле» (США) при таких испытаниях рекомендует для правильно выполненной системы охлаждения величину $t_{кр}$ не меньше чем 38°C .

Испытания в горных условиях. Таким испытаниям, в первую очередь, подвергаются легковые автомобили, имеющие мощные двигатели, для которых при установившемся движении на современных дорогах не удастся полностью использовать имеющуюся мощность двигателя. Другой целью подобных испытаний является проверка условий пароотделения в радиаторах, т. е. проверка различных конструкций расширительных бачков.

Фирма «Шевроле» проводит подобные испытания при равномерном движении автомобиля на подъеме крутизной 7% . Величина $t_{кр}$, приведенная к температуре кипения воды 100°C , составляет у легкового автомобиля «Шевроле» литражом $3,85\text{ л}$ для скорости 32 км/ч — 23°C , для скорости 20 км/ч — $17\div 19^{\circ}\text{C}$.

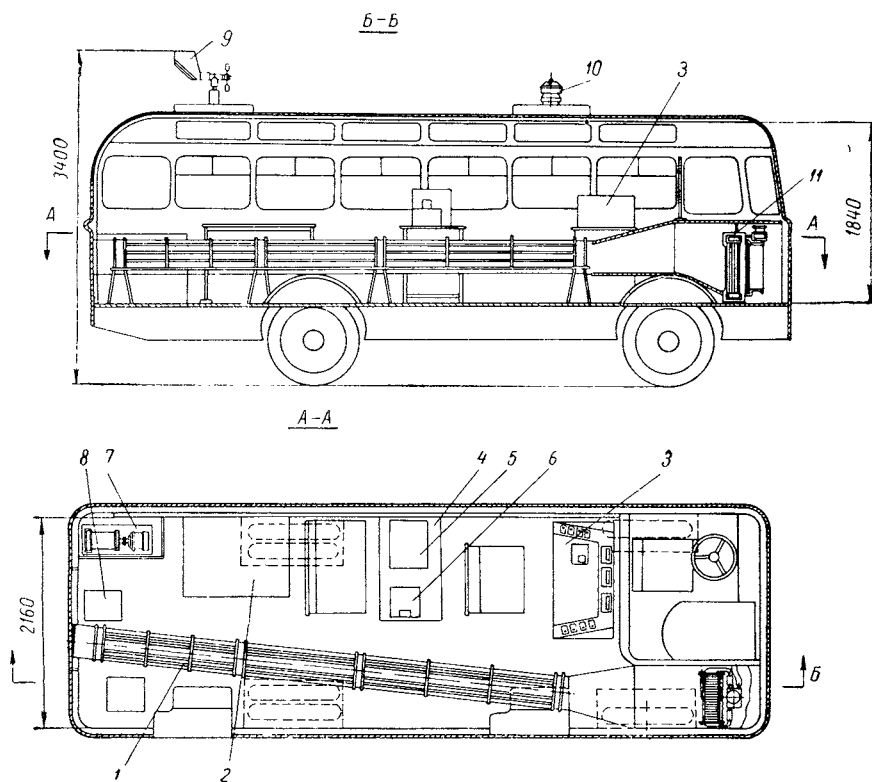
Испытания при работе двигателя на холостом ходу. Распространенным методом испытаний радиаторов являются испытания, проводимые на автомобиле при работе двигателя на холостом ходу. Длительная работа двигателя на холостом ходу является одним из наиболее характерных режимов для условий интенсивного уличного движения.

Существуют две разновидности указанных испытаний, которые, хотя и проводятся на неподвижном автомобиле, но всегда классифицируются как дорожные испытания.

В первом случае, чтобы избежать влияния ветра, автомобиль устанавливается в закрытом помещении, где поддерживается постоянная температура. Обороты двигателя устанавливаются в пределах $500\text{—}550\text{ об/мин}$, положение жалюзи — полностью открытое. Через некоторое время работы двигателя температура воды на входе и выходе из радиатора устанавливается. Рассчитанная для этих условий критическая температура воздуха и является параметром оценки работы системы охлаждения. Эта критическая температура воздуха обычно ниже, чем при движении автомобиля с полной подачей топлива. По некоторым данным [46] эта разница может составлять около 10°C . Однако по другим рекомендациям [43] минимальная критическая температура при работе двигателя на холостом ходу не должна быть ниже 38°C . Во втором случае после длительного движения на максимальной скорости автомобиль останавливают и замечают время, прошедшее от момента остановки до закипания воды в системе. Во время испытаний двигатель продолжает работать на холостом ходу.

Испытания на подвижной лаборатории. Испытания на подвижной лаборатории производятся с целью исследования и отработки конструкции радиатора и его отдельных элементов (поверхность охлаждения, гидравлический тракт и др.), согласования характе-

ристик радиатора с характеристиками других элементов системы охлаждения, и в первую очередь, вентилятора и водяного насоса, и т. д. Все эти испытания осуществляются непосредственно в реальных условиях движения машины.



Фиг. 84. Подвижная лаборатория для испытания радиаторов на базе автобуса ПАЗ-652:

1 — аэродинамическая труба; 2 — верстак; 3 — приборный пульт; 4 — стол; 5 — осциллограф; 6 — тензостанция; 7 — питающая электростанция; 8 — инструментальный ящик; 9 — датчик скорости и направления ветра; 10 — датчик температуры и влажности воздуха; 11 — испытуемый радиатор.

Ниже приводится описание одной из возможных конструкций подвижной лаборатории (фиг. 84).

Подвижная лаборатория выполнена на базе автобуса ПАЗ-652. Радиатор и вентилятор смонтированы в отдельном отсеке, расположенном в передней части автобуса. Этот отсек является начальным участком аэродинамической трубы, имеющей круглое сечение, а выходной участок трубы помещен в задней стенке кузова автобуса.

Оператор располагается за приборным пультом, на котором сосредоточены все измерительные приборы. Осциллограф и тензостанция помещены на специальном столе. В задней части кузова находится питающая измерительные приборы электростанция.

Подвижная лаборатория оборудована приборами для определения:

а) режима работы двигателя: числа оборотов и крутящего момента;

б) скорости движения автомобиля;

в) в воздушном тракте системы охлаждения: температуры воздуха перед и за радиатором, средней скорости воздуха в нескольких точках фронта радиатора, аэродинамического сопротивления радиатора, напора вентилятора, сопротивления воздушного тракта и др.;

г) в гидравлическом контуре системы охлаждения: температуры воды перед и за радиатором, температуры воды перед и за двигателем, расхода воды, сопротивления радиатора и различных участков гидравлического тракта, давления под паровым клапаном, давления (разрежения) перед водяным насосом и др.;

д) состояния окружающего воздуха: атмосферного давления, влажности и температуры воздуха, направления и скорости ветра относительно лаборатории как при ее неподвижном положении, так и при движении;

е) времени.

Испытания на подвижной лаборатории выполняются при заезде на испытательной трассе. При этом движение лаборатории происходит на различных режимах по скорости и нагрузке, аналогично описанным выше испытаниям автомобилей в дорожных условиях.

7. Эксплуатационные испытания радиаторов

Испытания алюминиевых радиаторов в эксплуатационных условиях являются одним из наиболее достоверных видов испытаний, особенно, если они проводятся на большом количестве образцов.

Задачей эксплуатационных испытаний является:

1) определение эксплуатационной надежности и долговечности радиаторов;

2) выявление эксплуатационных качеств радиатора, оценка удобства обслуживания и ремонта непосредственно в условиях эксплуатации;

3) определение стабильности тепловых свойств радиаторов в зависимости от срока службы, а также от степени загрязнения внешних и внутренних поверхностей радиатора.

Наиболее существенное значение имеет выбор места проведения эксплуатационных испытаний. Для алюминиевых радиаторов является обязательным выбор районов с наиболее неблагоприятными

водами. Такими районами в нашей стране являются районы рек Ишим, Дон (в нижнем течении) и др. Районы для проведения эксплуатационных испытаний выбираются также исходя из возможности получения крайних температур, как наиболее высоких летних, так и низких зимних.

Водительский состав перед проведением испытаний инструктируется о порядке технического обслуживания, ухода и ремонта радиаторов. К каждому установленному на испытания радиатору прилагается инструкция по эксплуатации и ремонту. Результаты испытаний находят отражение в специальном журнале, ведение которого поручается одному из технических работников эксплуатирующей организации. В журнале отмечаются по каждому из проходящих испытания радиатору: календарные сроки проведения испытаний, продолжительность испытаний (часы или километры), климатические условия (средняя температура воздуха) и обнаруженные недостатки.

В журнале приводится также анализ воды, используемой для заполнения систем охлаждения: на прозрачность, щелочность или окисляемость, наличие хлоридов, аммиачных солей и пр.

При установке на эксплуатационные испытания значительного количества образцов радиаторов полученные результаты обрабатываются с применением методов математической статистики.

8. Измерительная аппаратура

При стендовых и дорожных испытаниях радиаторов применяется измерительная аппаратура, используемая обычно при испытаниях тракторов и автомобилей, а также двигателей. Наиболее важными и характерными для испытаний непосредственно радиаторов являются измерения температур, давлений и скоростей (расходов) потоков теплообменивающихся сред.

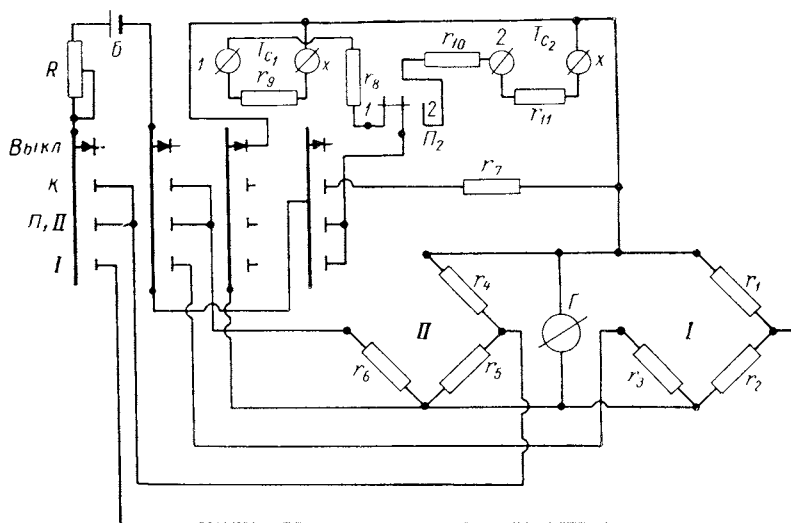
Измерение температур при стендовых тепловых испытаниях чаще всего выполняются с помощью ртутных стеклянных термометров с ценой деления шкалы $0,1^{\circ}\text{C}$. Применяются термометры с пределами измерений от 0 до $+50^{\circ}\text{C}$ и от $+50^{\circ}\text{C}$ до $+100^{\circ}\text{C}$.

За последнее время при лабораторных и дорожных испытаниях широкое распространение получают электрические методы измерения температур. Так, например, применяется микроэлектротермометр, выпускаемый агрофизическим институтом. Этот полупроводниковый термометр сопротивления допускает дистанционное измерение температуры. Он обладает высоким температурным коэффициентом (около 3% на 1°C) и большим внутренним сопротивлением (порядка нескольких тысяч ом). Приведенные особенности термосопротивления позволяют осуществлять измерения температуры с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$.

Собственно микросопротивление представляет собой шарик из полупроводникового материала диаметром около $0,5$ мм.

Наружная поверхность шарика защищена тонким слоем стекла. Микросопротивление смонтировано на конце стеклянной капиллярной трубки, внутри которой проходят провода.

Измерительный агрегат построен по схеме неравновесного моста (фиг. 85), которая позволяет наиболее просто и быстро производить измерения температуры, так как в процессе измерения необходимо только отсчитывать показания гальванометра, причем шкала последнего нанесена непосредственно в грудусах.



Фиг. 85. Схема неравновесного моста НМ 31/62.

Для увеличения точности замеров диапазон измеряемых температур разбит на два интервала, каждому из которых соответствует полная шкала гальванометра. Это достигается тем, что схема состоит из двух неравновесных мостов, составленных из сопротивлений r_1, r_2, r_3, r_4, r_5 и r_6 , причем четвертым плечом в обоих случаях служит измеряемое термосопротивление.

Источником питания моста является внутренняя батарея сухих элементов напряжением 4,5 в. Так как к мосту в процессе измерений необходимо подавать ток с постоянным по величине напряжением, то в схеме предусмотрена возможность регулировки его реостатом R . Эта регулировка производится в то время, когда с помощью переключателя n в плечо моста включается постоянное сопротивление r_7 . Значение этого сопротивления подобрано таким образом, чтобы при его включении и правильно отрегулированном напряжении стрелка гальванометра отклонилась до красной черты в конце шкалы прибора.

Номинальные сопротивления плеч моста: $r_1 = 20\ 000\ \text{ом}$,
 $r_2 = 12\ 000\ \text{ом}$, $r_3 = 17\ 800\ \text{ом}$, $r_4 = 5000\ \text{ом}$, $r_5 = 230\ \text{ом}$,
 $r_6 = 200\ \text{ом}$, $r_7 = 1020\ \text{ом}$.

Сопротивления r_8, r_9, r_{10} и r_{11} служат для компенсации различий в параметрах термосопротивлений, входящих в комплект прибора.

Для измерений давлений при испытаниях радиаторов применяются дифференциальные манометры и микроманометры. В качестве рабочей жидкости в этих приборах используются вода, спирт, бензин или ртуть в зависимости от величины измеряемого давления.

Измерение скорости воздушного потока производится с помощью анемометров, а также трубок Прандтля или Пито, соединенных с микроманометром. В последнем случае измерение скорости сводится к измерению динамического давления.

ГЛАВА VI

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТА АЛЮМИНИЕВЫХ РАДИАТОРОВ

1. Эксплуатация алюминиевых радиаторов

Конструкция алюминиевых радиаторов должна соответствовать всем требованиям эксплуатации автомобиля или трактора, т. е. требованиям выполняемой ими работы, технического обслуживания, ремонта и хранения. Вместе с тем, чтобы обеспечить длительный срок службы алюминиевых радиаторов, необходимо знать и внимательно выполнять правила их эксплуатации и ремонта, имеющие ряд особенностей.

В процессе эксплуатации алюминиевого радиатора, так же как медного или латунного [22], обязательным является заправка системы охлаждения мягкой водой. Это необходимо для избежания преждевременного коррозионного поражения элементов системы охлаждения и для предупреждения чрезмерного образования накипи, что может привести к снижению тепловой эффективности.

Особенно это относится к районам, имеющим воды с повышенной агрессивностью по отношению к алюминиевым сплавам. Водительский и обслуживающий персонал эксплуатируемых в этих районах машин с алюминиевыми радиаторами должен быть проинструктирован о необходимости соблюдения особой осторожности и о применении мер для умягчения воды.

Различают два способа умягчения воды: предварительный и непосредственно в системе охлаждения (с помощью ингибиторов).

Предварительный способ умягчения воды состоит в ее соответствующей обработке перед заполнением системы охлаждения и проводится в автохозяйстве с использованием имеющегося специального оборудования. Варианты этого способа изложены в работах [10, 22]. Необходимо тщательно следить за тем, чтобы

при такой обработке даже в малой степени не повышалась щелочность воды, так как это приведет к увеличению коррозионного воздействия на алюминиевый радиатор.

Обработка воды непосредственно в системе охлаждения применяется в том случае, когда по каким-либо причинам нет возможности организовать ее предварительную обработку, и осуществляется введением в воду специальных ингибиторов коррозии и накипеобразования. Институт НИИАТ [10] рекомендует добавлять к охлаждающей воде ингибитор, называемый гексаметом (см. гл. IV).

Для приготовления раствора гексамет должен быть измельчен в чугунной ступке и растворен в горячей воде, а затем в раствор, находящийся в железном бачке, добавляют холодную воду до нужного объема. Желательно, чтобы готовый раствор гексамета всегда был на автомобиле. По данным НИИАТ, расход гексамета оказывается незначительным даже в зимнее время при наибольшем расходе воды, заливаемой в радиаторы. Так, для довольно крупного автохозяйства (200—300 автомобилей) потребуется в этих условиях не более 25—35 г гексамета в день. Если гексамет используется в системах охлаждения без ежедневного слива воды, то для удаления возможных скоплений шлама необходимо 2—3 раза в месяц производить опорожнение системы. После каждого из таких опорожнений система охлаждения промывается водой и при заполнении ее свежей водой добавляется необходимое количество гексамета.

Применению ингибиторов должно предшествовать удаление накипи, имеющейся в системе охлаждения.

Наиболее простым и доступным способом очистки системы охлаждения является промывка ее проточной чистой водой, например из водопровода. Чтобы избежать засорения радиатора ржавчиной и другими отложениями из водяной рубашки блока, радиатор следует промывать отдельно от двигателя. Для повышения эффективности промывки поток воды прогоняют в направлении, противоположном обычной циркуляции, т. е. от выходного патрубка радиатора к входному.

Эффективным средством очистки радиатора и системы охлаждения является специальный моечный пистолет [10], применение которого позволяет подавать в очищаемый радиатор под определенным давлением воду и воздух. Моечный пистолет обеспечивает как одновременную, так и поочередную подачу воды и воздуха, что существенно повышает качество очистки радиатора от загрязнений, шлама и рыхлой части накипи.

Если промывка водой не дает желаемых результатов, то для удаления накипи используются специальные растворы.

Как известно, в настоящее время для удаления накипи из систем охлаждения с медными радиаторами практикуется промывка их растворами щелочей (например, каустической содой) или кислот.

Использование щелочных растворов для промывки алюминиевых радиаторов недопустимо, так как это приведет к выходу их из строя.

Институт НИИАТ [10] для промывки системы охлаждения с алюминиевыми деталями разработал раствор на основе ингибированной соляной кислоты следующего состава:

Товарная ингибированная соляная кислота по ВТУ 2345-50, л	9—10
Ингибитор ПБ-5, кг	0,1
Технический уротропин, кг	2,5
Смачиватель ОП-7 или ОП-10, кг	0,2—0,3
Пеногаситель (амиловый или изоамиловый спирт, скипидар и т. п.), кг	0,1
Вода	до объема 100 л

Кислотный раствор заливают в систему охлаждения (после снятия термостата) и заводят двигатель. Происходит циркуляция раствора при работе двигателя на малых оборотах холостого хода в течение 15 мин при температуре 50° С. После этого кислотный раствор сливают.

Для очистки алюминиевых радиаторов от накипи НИИХИМ-маш рекомендует следующий состав:

Хромовый ангидрид, г/л	4—5
Кремнефтористый натрий, г/л	4—5

Приготовленный раствор заливают в радиатор и оставляют на 3,5 ч при температуре 15° С. После слива раствора производится тщательная промывка радиатора проточной холодной водой под напором до тех пор, пока вода не перестанет окрашиваться остатками раствора. При обработке раствором указанного состава одновременно с удалением накипи со стенок водяных каналов происходит образование на них защитной хроматной пленки, повышающей коррозионную стойкость радиатора.

Следует отметить, что тонкий слой накипи не ухудшает заметно теплоотдачу радиатора и играет положительную роль, являясь защитой от возникновения очагов коррозии на внутренних поверхностях радиатора. Поэтому в том случае, когда алюминиевый радиатор нормально охлаждает двигатель, не следует прибегать к очистке от накипи, а производить очистку только в тех крайних случаях, когда в этом имеется действительная необходимость.

При эксплуатации часто происходит снижение теплоотдачи радиатора вследствие наружного загрязнения поверхностей охлаждения пылью, маслами и т. п. Очистка радиатора производится промывкой сильной струей воды в направлении от двигателя к облицовке радиатора. Если в конструкции алюминиевого радиатора не используются резиновые детали (втулки, уплотнения и др.), то сердцевину смачивают керосином, а затем через 10 мин

производят промывку. В случае значительного загрязнения сердцевин радиатор необходимо для промывки снять с машины.

Для повышения эффективности очистки наружных поверхностей охлаждения от загрязнений можно практиковать разборку сердцевин в тех конструкциях алюминиевых радиаторов, где это возможно (например, в радиаторах секционного типа).

Одним из наиболее ответственных моментов при эксплуатации алюминиевых радиаторов является правильная организация их хранения и консервации, так как при хранении наиболее вероятно появление коррозионных поражений радиаторов [45]. Аналогичные результаты получены при проведении эксплуатации опытных партий алюминиевых радиаторов, выпущенных отечественной промышленностью.

В настоящее время еще нет конкретных рекомендаций по такой организации хранения алюминиевых радиаторов, которая могла бы исключить возможность возникновения коррозионных поражений. Однако в этом случае могут быть использованы разработанные за последние годы для автотракторного и сельскохозяйственного машиностроения методы консервации изделий, и, в частности, методы консервации при транспортировке и хранении в условиях тропического и морского климата.

Одним из способов такой консервации является обработка изделий жидкими ингибированными защитными смазками, выпускаемыми московским заводом «Нефтегаз». Эти смазки содержат химические вещества, которые создают на поверхности металла защищающие от коррозии и не видимые глазом пленки.

Перед подготовкой алюминиевого радиатора к консервации выполняется обязательная операция сушки его внутренних и внешних поверхностей.

Внутренняя обработка производится специальными примесями к воде, которые после спуска воды оседают на стенках. После этой обработки система охлаждения плотно закрывается.

Для внешних поверхностей радиатора применяется обрызгивание защитной смазкой, например НГ-203А или НГ-204. Это обрызгивание лучше всего выполнять с помощью пульверизатора.

Если радиатор хранится отдельно от машины, после наружной обработки маслом его упаковывают в вощеную бумагу, а затем в деревянную тару. Хранить радиаторы нужно в сухом помещении, не содержащем паров кислот и щелочей.

Транспортировка радиаторов должна производиться в деревянной таре.

2. Ремонт алюминиевых радиаторов

Свои особенности имеет выполнение ремонта поврежденных алюминиевых радиаторов и в основном устранение появляющихся течей. Для неразборной конструкции паяного алюминиевого

радиатора проблема ремонта является одной из серьезнейших, препятствующих внедрению радиаторов этого типа в производство. Устранение течи пайкой, как это имеет место в медных радиаторах, здесь не представляется возможным даже при достаточно высокой квалификации ремонтников: во-первых, весьма мала разница температур плавления твердого припоя и основного материала трубок радиатора, что при нагреве в процессе ремонта неизбежно приведет к повреждению всего радиатора, и, во-вторых, весьма трудно удалить остатки флюсов и поэтому место пайки явится очагом интенсивной коррозии при дальнейшей эксплуатации радиатора.

Не нашел широкого применения и метод установки заплат из пластмассы, окончательно затвердевающей при нагревании [42] в связи с трудностью ее наложения особенно в тех случаях, когда повреждения имеют внутренние трубки сердцевин.

Наиболее радикальным средством является полная замена поврежденного радиатора, что естественно весьма увеличивает себестоимость ремонта. Видимо, поэтому фирмы, работающие над алюминиевыми радиаторами, стремятся идти по пути повышения их надежности по сравнению с медными [45], что, с одной стороны, снижает вероятность повреждения радиаторов в эксплуатации, а следовательно, и необходимость их замены, а с другой — компенсирует более высокую стоимость производства паяных алюминиевых радиаторов.

Устранение течей в разборных конструкциях алюминиевых радиаторов осуществляется значительно проще и в этом отношении они могут вполне успешно конкурировать с медными паяными радиаторами, а в случае централизованного снабжения запасными элементами во много раз превосходить их по удобству и себестоимости выполнения ремонтных операций.

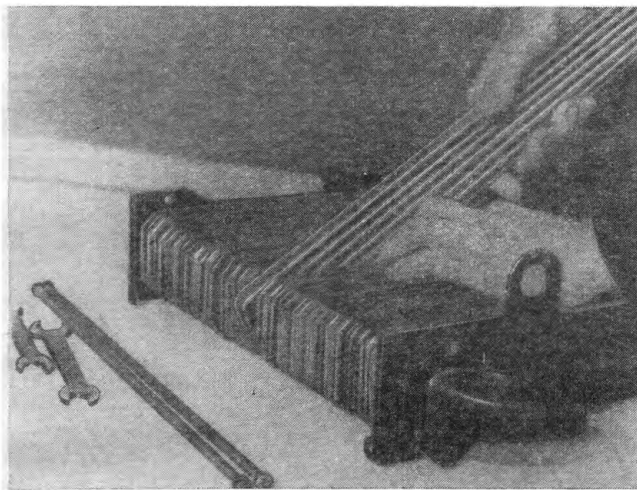
Алюминиевый радиатор НК-120 конструкции НАМИ (фиг. 15) имеет частично разборную конструкцию, т. е. съемные верхний и нижний бачки. Это значительно повышает его ремонтную способность и позволяет выполнять текущий ремонт или чистку водяных трубок.

Для разборки радиатора специальным съемником, имеющимся в комплекте инструмента, необходимо осторожно отогнуть лепестки зажимных планок верхнего и нижнего бачков поочередно и равномерно по всей длине зажимных планок. После снятия зажимных планок отворачиваются гайки болтов, соединяющих боковины с бачками и сердцевинной, и бачки удаляются.

При повреждении трубок устранение течи производится уплотнением концов дефектных трубок резиновыми или деревянными пробками. Пробки вставляются в очищенные концы трубок и углубляются на 2—3 мм от торца трубки. После этого конец трубки слегка обжимается в нескольких местах.

При большом числе дефектных трубок рекомендуется восстанавливать радиатор путем установки новых трубок внутрь поврежденных с последующим увеличением внутреннего диаметра специальной протяжкой для их плотного прилегания. По данным НАМИ такой ремонт полностью восстанавливает тепловую эффективность радиатора.

При повреждении элемента, уплотняющего концы трубки, производится вырезание поврежденного места резиновой прокладки и установка специальной ремонтной втулки.



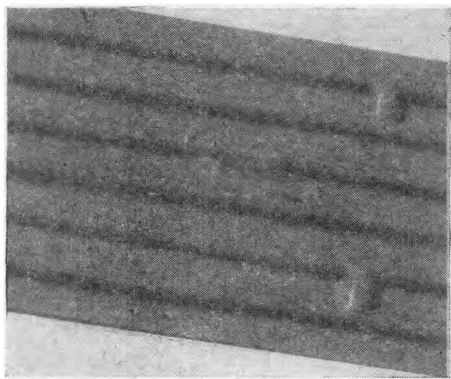
Фиг. 86. Удаление поврежденной секции из радиатора секционного типа.

Сборка радиатора НК-120 после ремонта производится в порядке, обратном разборке, при этом обжатие лепестков зажимных планок выполняется специальными клещами. После сборки радиатор подвергается испытанию на герметичность заливкой воды или воздухом в водяной ванне при давлении $1,2 \text{ кг/см}^2$. Появление капель воды или пузырьков воздуха не допускается.

Перечисленными выше приемами возможно восстановление поврежденной сердцевины алюминиевого радиатора НК-120; однако для выполнения ремонта необходимо использование специального инструмента и наличие запасных деталей для ремонта (пробки-заглушки, ремонтные резиновые втулки, ремонтные трубки и др.).

Следует отметить, что метод глушения поврежденных трубок, хотя и позволяет довольно просто ликвидировать течь в радиаторе, не являются достаточно рациональными. При таком ремонте тепловая эффективность радиатора уменьшается с каждой

заглушенной трубкой. Приглушении 15—20% трубок сердцевин радиатор выводится из строя, так как такая сердцевина вызывает перегрев системы охлаждения. При этом не могут быть использованы до их полной амортизации 80—85% еще работоспособных элементов сердцевин радиатора. По данным НАТИ [24], долговечность сердцевин радиаторов, определенная из расчета средних годовых норм расхода запасных частей к ним, для разборных конструкций сердцевин оказывается в несколько раз большей,



Фиг. 87. Участок секции алюминиевого радиатора, отремонтированный заплатой из эпоксидного клея.

чем для неразборных. В этом отношении особенно перспективной является конструкция алюминиевых радиаторов секционного типа, которая позволяет по-новому подойти к вопросу ремонта радиаторов в процессе эксплуатации и при капитальном ремонте машин.

Наиболее возможной неисправностью радиатора секционного типа является повреждение (нарушение герметичности) секции или уплотняющей прокладки. Для устранения такой неисправности производится частичная разборка радиатора и замена

поврежденной детали новой, имеющей низкую стоимость. Предполагается, что запасные секции должны поставляться на ремонтные предприятия, в эксплуатирующие организации и в торговую сеть в централизованном порядке со специализированных предприятий.

Ремонт радиатора, производимый заменой дефектной секции или прокладки, полностью восстанавливает тепловую эффективность радиатора и также обеспечивает полную амортизацию радиатора, т. е. коэффициент долговечности, близкий к единице.

При ремонте радиатора секционного типа необходимо соблюдать следующую последовательность операций:

- 1) снять радиатор с автомобиля (трактора);
- 2) выявить неисправную секцию (прокладку) проверкой на герметичность в водяной ванне давлением воздуха до $1,2 \text{ кг/см}^2$ или наполнением радиатора водой;
- 3) поместить радиатор на плоскую горизонтальную поверхность (например, стол) и осторожно, чтобы не рассыпался пакет секций, отвернуть гайки и снять стяжные болты;
- 4) с помощью отвертки или плоской лопатки раздвинуть пакет около неисправной секции или прокладки;

5) вынуть из пакета неисправную секцию или прокладку и заменить ее новой (фиг. 86);

6) равномерно стянуть пакет секций стяжными болтами до размера, указанного в чертеже или инструкции; усилие затяжки должно также соответствовать данным инструкции;

7) собранный радиатор проверить на герметичность в водяной ванне давлением воздуха до $1,2 \text{ кг/см}^2$ или наполнением радиатора водой;

8) установить радиатор на автомобиль (трактор).

Такой ремонт радиатора, как показывает опыт, может быть выполнен за 40—50 мин (для автомобиля «Москвич-407»), т. е. в несколько раз быстрее, чем ремонт существующего паяного латунного радиатора.

При ремонте алюминиевого радиатора секционного типа не требуется специального оборудования и высокой квалификации рабочего в отличие от существующих медных радиаторов, поэтому оказывается возможным производить ремонт в пути и в автохозяйствах.

Следует заметить, что конструкция алюминиевого радиатора секционного типа предусматривает возможность временного ремонта с целью ликвидации течи устранением неисправной секции без замены. При отсутствии запасных секций ремонт поврежденной секции может быть выполнен наложением заплаты из эпоксидного клея холодного отверждения (фиг. 87), который имеет состав, указанный в гл. III. Перед нанесением заплаты производится тщательная очистка и обезжиривание поверхности; выдержка для затвердевания — 24 ч.

ГЛАВА VII

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ РАДИАТОРОВ

1. Себестоимость производства

В настоящее время трудно определить точно полную экономическую эффективность внедрения в производство той или иной конструкции алюминиевых радиаторов, так как пока не отработан технологический процесс их изготовления в условиях массового специализированного производства и соответственно окончательно не отработаны конструкции самих радиаторов. Это не позволяет в полной мере определить состав технологического оборудования и уровень его автоматизации, численность рабочих, а также капитальные затраты, необходимые для организации специализированного производства алюминиевых радиаторов. Все сказанное в наибольшей мере относится к такому производству алюминиевых радиаторов, которое предусматривает использование новых технологических процессов, ранее не применявшихся при изготовлении радиаторов.

Поэтому в настоящее время можно говорить только о некоторой условной технико-экономической эффективности, рассчитанной по ориентировочным и укрупненным показателям в сравнении с находящимися на производстве медными радиаторами. При таком расчете безусловно должны учитываться общая перспективность и передовые принципы, закладываемые в тот или иной технологический процесс и конструкцию радиатора.

При технико-экономической оценке нельзя обходить вниманием вопрос о затратах на восстановление поврежденных радиаторов, стоимость ремонта, отвлечение для его выполнения тысяч квалифицированных рабочих, срок амортизации радиатора, а также снабжение запасными частями.

Такая условная оценка технико-экономической эффективности позволит более правильно определить направления дальнейших

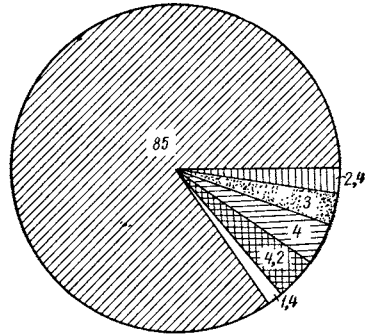
работ по внедрению алюминиевых радиаторов в народное хозяйство.

Внедрение алюминиевых радиаторов в нашей стране должно в первую очередь рассматриваться как решение проблемы экономии громадного количества дефицитных металлов: меди, олова и свинца, расходуемых в настоящее время радиаторным производством в автотракторной промышленности.

Иную цель преследуют работы по алюминиевым радиаторам, проводимые в США, где медь и олово не являются дефицитными материалами. Здесь в основном принимаются во внимание экономические соображения, обусловленные несколько меньшей стоимостью в США алюминия по сравнению с медью.

Как показывает анализ литературных источников [3, 51] и данных действующего в нашей стране радиаторного производства, в среднем структура затрат на производство радиатора (себестоимость радиатора) имеет вид, представленный на графике (фиг. 88). Эти затраты для радиаторов разных типов обычно отличаются незначительно и остаются вблизи обозначенных на фиг. 88 средних значений.

Из графика видно, что в себестоимости радиаторов преобладающей статьёй затрат является стоимость сырья, материалов и полуфабрикатов.



Фиг. 88. Структура затрат на производство современного медного паяного радиатора:

85% — сырье, материалы и полуфабрикаты; 2,4% — основная зарплата производственных рабочих; 3% — расходы по содержанию и эксплуатации оборудования; 4% — цеховые расходы; 4,2% — общезаводские расходы; 1,4% — внепроизводственные расходы.

Себестоимость радиатора $C_{рад}$ через стоимость материалов M выражается следующим образом [5]

$$C_{рад} = M \frac{1 + c + p}{c} \approx 1,19M, \quad (75)$$

где c — отношение стоимости материалов к зарплате;

p — отношение косвенных и внепроизводственных расходов к зарплате.

Как показывают статистические данные, для машин и оборудования одного и того же типа эта формула остается почти неизменной [5], что позволяет значительно упростить предварительные расчеты технико-экономической эффективности.

Анализ формулы (75) подтверждает, что для условной и ориентировочной оценки себестоимости алюминиевых радиаторов различных типов основное внимание должно быть уделено сравнению стоимости используемых для их изготовления материалов.

В табл. 15 приведены данные по стоимости материалов и полуфабрикатов, используемых для изготовления медных и алюминиевых радиаторов. Из таблицы можно сделать следующие выводы.

Таблица 15

Оптовые цены на сырье, материалы и полуфабрикаты, используемые для изготовления радиаторов *

Наименование изделий	Материал	Толщина ленты, листа, стенки трубы, мм	Оптовая цена, руб. за 1 т	ГОСТ или ТУ
Ленты радиаторные	Медь	0,10—0,15	1190—1350	ГОСТ 859-41
	Латунь Л62	0,10—0,25	855—1265	ГОСТ 1019-47
	Томпак Л90	0,15—0,25	1080—1180	ГОСТ 1019-47
Ленты	Медь	0,25	955—985	ГОСТ 859-41
	Алюминий АО	0,2—0,5	895—1035	ГОСТ 1018-54
	Алюминий АД и АД-1	0,3—0,5	780—790	—
Листы	Алюминиевый сплав АМц	0,3—0,6	720—750	—
	Алюминиевый сплав АМг	0,3—0,6	1010—1070	—
	АПС (алюминий, плакированный силумином)	0,5	2600	СТУ МАП
Фольга	Алюминиевый сплав АМц	0,1—0,2	1500—1700	ТУЦМОЗ и В 7-52
Трубки радиаторные плоскоовальные и овальные тянутые	Томпак Л96	—	1200—1350	ГОСТ 2936-56
Трубы пресованные	Алюминий А00	0,4 (8,3) **	9800	—
	Алюминий АД	0,5 (8,5)	4170	—
	То же	1,5 (13)	2570	—
	»	1,5 (53)	1690	—
Чушки	Алюминий первичный	—	476—485	ГОСТ 3549-55
	Силумин	—	471—477	ГОСТ 1521-51
	Припой ПОС-40	—	4500	ГОСТ 1499-54
	Припой ПОС-30	—	3500	То же
	Припой ПОС-18	—	2400	»
Прокладки	Паронит	—	1700—1890	ГОСТ 481-58

* Составлено с использованием прейскурантов оптовых цен № 02—01, № 02—06 и № 05—10 за 1960 г.

** В скобках дан диаметр трубы, мм.

1. Наименьшую стоимость имеют материалы в виде чушек, используемые для изготовления алюминиевой радиаторной ленты непосредственно из расплава. С учетом легирующих присадок стоимость шихты сплава АМц составляет 484 руб. за тонну, т. е. в 1,5—1,55 раза ниже, чем стоимость соответствующего листа АМц.

2. Наименьшую стоимость листового проката из алюминиевых сплавов, применяемых для изготовления радиаторов, имеют сплавы АМц, наиболее высокую — сплавы АМг. Стоимость любого из них ниже стоимости медного или латунного проката, применяемого для изготовления медных радиаторов.

3. Стоимость алюминиевого листа, плакированного силумином (марки АПС), почти в 3,6 раза выше стоимости одинакового по толщине листа АМц и более чем в 2,7 раза превышает стоимость медного листа, взамен которого он может быть применен, т. е. имеющего в два раза меньшую толщину.

4. Прессованные из алюминиевых сплавов тонкостенные трубки, которые используются для сборки сердцевин алюминиевых радиаторов трубчато-пластинчатого и трубчато-ленточного типов, имеют весьма высокую стоимость, в 3—7 раз превышающую стоимость специальных тянутых трубок, применяемых иногда для изготовления медных радиаторов.

5. Стоимость прессованных из алюминиевых сплавов сравнительно толстостенных труб, которые используются для изготовления накаткой сердцевин трубчато-ребристого типа, является сравнительно умеренной, но все же в 2—2,2 раза превышает стоимость соответствующего листового материала из алюминиевых сплавов.

6. Стоимость материалов, используемых для изготовления медных паяных радиаторов, является значительной из-за использования припоев, имеющих весьма высокую стоимость.

Для сравнения различного типа поверхностей охлаждения по стоимости используемых материалов приведен график на фиг. 89, который получен соответствующим перестроением графика фиг. 53, т. е. построена зависимость коэффициента стоимости материалов от затрат мощности на снятие определенного количества тепла

$$\tau_3 = \tau_g \frac{M'}{M_0} = f(AN_{\sigma 0}), \quad (76)$$

где M' и M_0 — соответственно средние стоимости материалов, израсходованных на изготовление единицы веса сравниваемой и эталонной поверхности охлаждения. За последнюю, как это было сделано выше, принята поверхность охлаждения алюминиевого радиатора секционного типа автомобиля «Москвич-407».

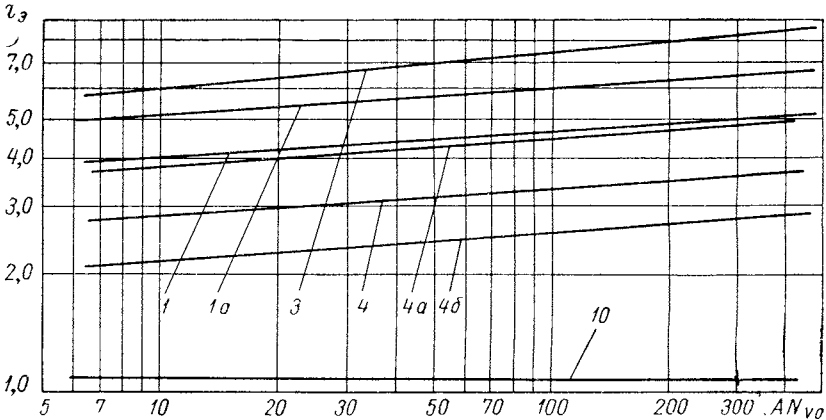
Величина M' определяется по следующей формуле:

$$M' = \frac{\sum_{i=1}^n M_i G_i}{g_e},$$

где M_i — стоимость материала одного наименования, руб.;

G_i — вес материала одного наименования, кг.

Таким образом, график на фиг. 89 с учетом формулы (75) косвенно отражает себестоимость сердцевин радиатора при одинаковых теплосъемах и равных затратах мощности.



Фиг. 89. Сравнение экономических показателей поверхностей охлаждения по уравнению $\tau_{\theta} = f(AN_{20})$.

Для поверхности охлаждения 11 $\tau_{\theta} = 1$.

В настоящее время в литературе нет данных по теплоотдаче и аэродинамическому сопротивлению паяных конструкций цельно-алюминиевых радиаторов трубчато-пластинчатого и трубчато-ленточного типов; поэтому на графике приведены расчетные характеристики, полученные пересчетом соответствующих сердцевин медных радиаторов ЗИЛ-164 и ЗИЛ-130, т. е. условно принимается, что алюминиевые паяные радиаторы имеют геометрические параметры поверхности охлаждения, а также тепловые и аэродинамические характеристики, аналогичные соответствующим медным радиаторам.

В этом случае расчет веса алюминиевых радиаторов выполняется по формуле

$$g_{e\text{ Al}} = 2g_{e\text{ Cu}} \frac{\gamma_{\text{Al}}}{\gamma_{\text{Cu}}} = 0,655g_{e\text{ Cu}}, \quad (77)$$

которая учитывает увеличение вдвое толщины алюминия по сравнению с медью, как это было принято выше, в гл. I и II, а также различие в удельных весах применяемых материалов.

На графике характеристики таких условных радиаторов, выполненных целиком из лакированного материала, обозначены соответственно индексом *a*, а радиаторов, у которых из лакированного материала выполнены только трубки, — индексом *b*.

На фиг. 89 можно видеть, что наименьшую стоимость имеют радиаторы секционного типа. Алюминиевые радиаторы трубчато-ленточного типа, у которых выполнены из лакированного материала только трубки, имеют более высокую стоимость. Стоимость же алюминиевых радиаторов трубчато-ленточного и трубчато-пластинчатого типов, изготовленных целиком из лакированного металла, оказывается даже выше стоимости соответствующих медных радиаторов. То же относится и к алюминиевому радиатору конструкции НАМИ.

В табл. 16 приведены сравнительные данные по стоимости материалов, расходуемых для изготовления некоторых описанных выше алюминиевых радиаторов и соответствующих медных радиаторов.

Таблица 16

Сравнительные данные по стоимости материалов
алюминиевых и медных радиаторов

Марка машины или фирма-изготовитель	Медные радиаторы		
	Тип	Вес, кг	Стоимость материалов, руб.
Автомобиль ЗИЛ-150	Трубчато-пластинчатый	15,9 *	22,61
Автомобиль МЗМА-407	Пластинчатый	8,1	14,3
Трактор К-700	Трубчато-пластинчатый	98,7	105,1
Фирма «Сумитомо»	Трубчато-ребристый***	11,2	3590 ****
Марка машины или фирма-изготовитель	Алюминиевые радиаторы		
	Тип	Вес, кг	Стоимость материалов, руб.
Автомобиль ЗИЛ-150	Трубчато-пластинчатый	12,2	38,5 *
Автомобиль МЗМА-407	Секционный	4,63	3,9
Трактор К-700	Секционный	90,8	57,16 **
Фирма «Сумитомо»	Трубчато-ленточный	3,1	1540 ****

* Данные относятся к сердцевине.
 ** Включая стоимость изготовления проушин литьем под давлением.
 *** Трубки — медные, оребрение — алюминиевое.
 **** В японских денежных единицах.

Как видно из фиг. 89 и табл. 16, значительную экономию в стоимости используемых материалов можно получить в том случае, когда эти материалы применяются в виде листового проката или расплава. Когда применяются плакированные листовые материалы или полуфабрикаты в виде прессованных труб, стоимость используемых основных материалов едва ли может быть намного ниже стоимости материалов, расходуемых на изготовление медных радиаторов.

Как показывает опыт иностранных фирм [45], себестоимость производства алюминиевых паяных радиаторов оказывается более высокой по сравнению с производством медных радиаторов.

С учетом того, что трудоемкость изготовления таких радиаторов по существу не может быть ниже трудоемкости изготовления медных радиаторов аналогичной конструкции, причины высокой себестоимости, очевидно, следующие:

- а) весьма высокая стоимость плакированных материалов;
- б) большие и невозвратимые потери дорогих флюсов;
- в) трудность устранения производственного брака.

Опыт промышленного производства авиационных алюминиевых радиаторов трубчато-ребристого типа в 1940—1945 гг. также выявил их более высокую себестоимость, чем себестоимость медных паяных радиаторов, что было связано с большой стоимостью цельнотянутых труб, использовавшихся для накатки, и значительным объемом ручного труда. Имеются, однако, мнения [34], что при соответствующей доработке конструкции радиатора и технологии его изготовления это производство может оказаться конкурентоспособным с производством медных радиаторов.

Применение для изготовления алюминиевых радиаторов секционного типа сварки прокаткой по печатной схеме, холодной прессовой сварки (для малогабаритных секций отопителя), а в перспективе также метода вытяжки радиаторной ленты непосредственно из расплава, позволит создать поточное производство с высокой степенью автоматизации и механизации.

Выполненные расчеты показывают, что при соответствующей доработке технологического процесса трудоемкость изготовления алюминиевого радиатора секционного типа сваркой прокаткой по печатной схеме будет ниже или равна трудоемкости изготовления медных паяных радиаторов. Это также подтверждается данными американской фирмы «Олин Мэтисен Кемикл Корпорейшн» и английской фирмы «Империал Кемикл Индастриес», предложившими подобную технологию для изготовления автомобильных радиаторов. Для технологического процесса изготовления секций отопителя, использующего холодную прессовую сварку, трудоемкость будет еще ниже.

Себестоимость алюминиевого радиатора НК-120 при его изготовлении на Ждановском машиностроительном заводе оказалась весьма высокой вследствие; весьма высокой стоимости использо-

вавшихся прессованных трубок, значительной трудоемкости операций механической калибровки трубок, которая к тому же сопровождалась большим браком вследствие разрыва трубок и большой стоимости блока резиновых уплотнителей.

2. Себестоимость эксплуатации и ремонта

Технико-экономическая эффективность внедрения алюминиевых радиаторов должна рассматриваться не только с позиций организации и себестоимости радиаторного производства, но и с позиций всего народного хозяйства, т. е. должны быть приняты во внимание стоимость эксплуатации алюминиевых радиаторов, затраты на их восстановление в процессе эксплуатации, срок амортизации и организация снабжения запасными частями.

Эксплуатация алюминиевых радиаторов по удобству обслуживания, трудоемкости выполнения монтажно-демонтажных работ и т. п. почти не отличается от эксплуатации медных паяных радиаторов.

При соответствующей доработке конструкции и технологии изготовления алюминиевого радиатора его надежность в эксплуатации (величина межремонтных пробегов) оказывается не ниже, чем у соответствующих медных радиаторов [34, 45].

Иначе обстоит дело с ремонтом радиаторов. Опыт работы автотранспортных предприятий показывает, что количество ремонтов за год медных паяных радиаторов часто превышает среднесписочное количество автомобилей данного автохозяйства. Себестоимость ремонта поврежденного радиатора оказывается весьма значительной в связи с большими расходами дорогих припоев и высокой квалификацией ремонтных рабочих при низкой производительности их труда. Кроме того, выполненный ремонт нередко имеет низкое качество и влечет за собой снижение тепловых свойств радиатора, так как сопровождается заглушением целого ряда трубок. Статистика данных авторемонтных предприятий говорит о том, что в настоящее время средняя стоимость одного капитального ремонта радиатора составляет до 40 % себестоимости изготовления того же радиатора на специализированном предприятии.

Ремонт алюминиевых радиаторов по своей специфике значительно отличается от ремонта медных паяных радиаторов. Так по некоторым данным [31, 45] стоимость ремонта алюминиевых паяных радиаторов оказывается более высокой, чем стоимость ремонта медных паяных радиаторов. Более того, в эксплуатационных условиях такой ремонт оказывается часто вообще невыполнимым и поэтому приходится ориентироваться на замену радиатора, имеющего течь. В этом отношении подобная конструкция алюминиевого радиатора оказывается совершенно неудовлетворительной с точки зрения себестоимости ремонта,

Алюминиевые радиаторы, имеющие съемные бачки, значительно более удобны в ремонте. Себестоимость их ремонта может быть равна или даже ниже себестоимости ремонта медного радиатора, хотя такой ремонт обычно сопровождается глушением имеющихся течей трубок.

Наиболее просто выполняется ремонт алюминиевых радиаторов, имеющих разборную конструкцию (например, радиаторов секционного типа или радиаторов трубчато-ребристого типа) при наличии запасных элементов, изготовленных на специализированном предприятии. Расчеты и имеющийся опыт ремонта показывают, что в этом случае себестоимость капитального ремонта может быть уменьшена в 4—5 раз по сравнению с себестоимостью ремонта медного паяного радиатора. В масштабе народного хозяйства страны такое снижение стоимости восстановления радиаторов приведет к экономии десятков миллионов рублей в год.

Разборная конструкция алюминиевого радиатора имеет еще и другое преимущество. Так по данным НАТИ [24] долговечность, или срок службы радиаторов до полной амортизации составляет:

- а) при неразборной конструкции сердцевин — 3—5 лет;
- б) при разборной конструкции сердцевин — 15 лет.

Таким образом, за счет возможности замены деталей сердцевин, помимо полного восстановления тепловой эффективности радиатора, можно в несколько раз повысить срок службы. В этом отношении внедрение алюминиевых радиаторов секционного типа или разборных алюминиевых радиаторов трубчато-ребристого типа позволит получить значительный экономический эффект.

3. Капитальные вложения

Из предыдущих глав следует, что для организации промышленного производства алюминиевых радиаторов того или иного типа потребуются некоторые капитальные вложения, так как технология производства алюминиевых радиаторов существенно отличается от технологии производства медных паяных радиаторов. Объем этих капитальных вложений и сроки их окупаемости в настоящее время подсчитать невозможно, так как нет еще данных по тому технологическому оборудованию, которое для такого производства потребуется. Однако ясно, что переход на производство алюминиевых радиаторов должен сопровождаться еще более глубокой специализацией производства на базе подетальной и технологической специализации, что позволит получить дополнительно существенный экономический эффект.

В табл. 17 приведены данные по ориентировочной стоимости оборудования, используемого в настоящее время для производства радиаторов трубчато-пластинчатого типа (из расчета на выпуск 1 млн. радиаторов в год).

**Ориентировочная стоимость оборудования
для производства 1 млн. медных радиаторов в год**

Тип оборудования	Наименование оборудования	Ориентировочная стоимость, тыс. руб.	% от общей стоимости оборудования
Специализированное термическое	Трубчатые агрегаты, спекательные печи, устройства для пайки и т. п.	78—82	38
Специализированное механическое	Полуавтоматы для набора охлаждающих пластин, транспортирующие устройства и т. п.	17—21	9
Универсальное	Прессы и др.	110—115	53

Из таблицы видно, что стоимость специализированного оборудования составляет около 100 тыс. руб., т. е. во много раз меньше годового эффекта, ожидаемого от внедрения алюминиевых радиаторов.

При внедрении паяной конструкции алюминиевых радиаторов [30, 32, 42] необходимо переоснащение производства в основном новым термическим оборудованием, предназначенным для пайки радиаторов, т. е. оборудованием, рассчитанным на другие температурные режимы, имеющим значительно более жесткое регулирование рабочих пределов температур и снабженным более совершенной вентиляцией. В общем объеме стоимости оборудования, используемого для производства медных радиаторов, необходима замена оборудования, стоимость которого составляет около 40% стоимости всего оборудования. Таким образом, в этом случае можно говорить лишь о сохранении универсального и небольшого по стоимости специализированного механического оборудования; однако при этом остается нерешенной проблема вредности производства. При организации производства алюминиевых паяных радиаторов потребуется развитие производственных мощностей в металлургической промышленности по выпуску плакированной алюминиевой ленты.

Внедрение алюминиевых радиаторов секционного типа при условии получения нераздутой радиаторной ленты с металлургических предприятий не будет сопровождаться высокими капиталовложениями на новое оборудование в радиаторном производстве.

Производство алюминиевых радиаторов трубчато-ребристого типа потребует оснащения заводов специальными станами для накатки ребер, а в случае ориентации на разборную конструкцию

радиатора трубчато-ребристого типа — организацию производства резиновых уплотнителей.

Для сравнения технико-экономической эффективности внедрения различных конструкций алюминиевых радиаторов и соответствующей технологии их производства предлагается табл. 18. При составлении таблицы использованы данные, приведенные в настоящей и предыдущих главах, по оценке конструкций радиаторов, технологии их изготовления, ремонту и срокам амортизации.

Таблица 18

Условная сравнительная оценка технико-экономической эффективности алюминиевых радиаторов различного типа

Показатели технико-экономической эффективности	Латунный радиатор трубчато-пластинчатого типа	Алюминиевые радиаторы			
		паяный трубчато-ленточный	трубчато-ребристый	секционного типа	конструкции НАМИ
Вес сердцевины	В	А	В	А	А
Объем сердцевины	А	А	Б	А	А
Степень унификации конструкции	Б	Б	Б	А	Б
Стоимость используемых материалов и полуфабрикатов	Б	Б	Б	А	В
Трудоемкость изготовления	А	А	Б	А	А
Вредность производства	Б	Б	А	А	А
Себестоимость производства	Б	Б	Б	А	В
Капиталовложения в организацию радиаторного производства	—	А	В	Б	А
Себестоимость ремонта	В	Г	А	А	Б
Срок амортизации в эксплуатации	Б	Б	А	А	Б

Примечание. А — более предпочтительная величина.

Сравнение проведено по следующим типам радиаторов: серийный медный (латунный) паяный радиатор трубчато-пластинчатого типа; алюминиевый радиатор трубчато-ленточного типа, изготовленный пайкой твердыми припоями; алюминиевый радиатор трубчато-ребристого типа, имеющий разборную конструкцию; алюминиевый радиатор секционного типа, изготовленный из

радиаторной ленты, полученной сваркой прокаткой по печатной схеме; и алюминиевый радиатор трубчато-пластинчатого типа конструкции НАМИ.

Из табл. 18 следует, что наиболее перспективной является конструкция алюминиевого радиатора секционного типа, так как подавляющее большинство показателей технико-экономической эффективности для нее является более предпочтительным.

Таким образом, предлагаемая организация специализированного производства унифицированного ряда секций таких радиаторов наиболее полно отвечает требованиям Программы КПСС по техническому перевооружению нашей промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов Г. В. Теория и методы исследования коррозии металлов. М. — Л., Изд. АН СССР, 1945. 414 с.
2. Антуфьев В. М. Сравнительные исследования теплоотдачи и сопротивления ребристых поверхностей. — «Энергомашиностроение», 1961, № 2, с. 12—16.
3. Бабичев В. З. Автомобильные радиаторы. М., Машгиз, 1951. 158 с.
4. Баранов И. Б. Холодная сварка пластичных металлов. М. — Л., Машгиз, 1962. 152 с.
5. Барташев Л. В. Техничко-экономические расчеты при проектировании и производстве машин. М., Машгиз, 1963. 304 с.
6. Берман С. С. Теплообменные аппараты и конденсационные устройства турбоустановок. М., Машгиз, 1959. 427 с.
7. Вихерт М. М., Доброгаев Р. П., Ляхов М. И. и др. Конструкция и расчет автотракторных двигателей. М., Машгиз, 1957. 604 с.
8. Григорьев Б. А., Грибанов В. П. Оценка эффективности системы охлаждения двигателей автомобилей в дорожных условиях. — «Автомобильная промышленность», 1961, № 10, с. 7—9.
9. Кирпичев М. В. О наиболее выгодной форме поверхности нагрева. — «Известия Энергетического института им. Г. М. Кржижановского», т. 12, 1944, с. 5—9.
10. Колтыпин С. Г. Удаление накипи из систем охлаждения автомобильных двигателей. М., Автотрансиздат, 1962. 62 с.
11. Крениг В. О., Амбарцумян Р. С. Коррозия металлов в авиации. М., Оборонгиз, 1941. 176 с.
12. Кротов И. В., Гринина В. В. и Запольская И. А. Получение пленок фосфатов алюминия и хрома на алюминии и его сплавах. — «Журнал прикладной химии», 1958, № 1, с. 33—40.
13. Марьямов Н. Б. Расчет трубчато-пластинчатых и трубчато-ребристых радиаторов. Министерство авиационной промышленности СССР, 1946. 29 с. (Труды ЛИИ, № 18).
14. Минкин М. Л. Алюминиевые автомобильные радиаторы. — «Автотракторное и сельскохозяйственное машиностроение», 1962, № 12, с. 11—16.
15. Минкин М. Л., Хмельницкий Э. Е., Шевич А. Г., Краваев В. И. Новые радиаторы для автомобилей ЗИЛ. — «Автомобильная промышленность», 1960, № 9, с. 10—14.
16. Михеев М. А. Основы теплопередачи. М. — Л., Госэнергоиздат, 1956. 392 с.
17. Павлов А. И., Поттинг Е. Л. Применение алюминиевых сплавов в судостроении. Л., Судпромгиз, 1961. 290 с.
18. Петухов Б. С. Опытное изучение процессов теплопередачи. М. — Л., Госэнергоиздат, 1952. 344 с.

19. Потапов А. А., Краснокутский П. М. Оребрение стальных труб теплообменной аппаратуры поперечно-винтовой накаткой. — «Химическое машиностроение», 1961, № 5, с. 43—44.
20. Пугачев А. И. Технология изготовления и свойства клеесварных соединений из алюминиевых сплавов. М., Всесоюз. ин-т научной и технической информации ГНТК, 1959, 84 с.
21. Рутенбург Г. Б. Опыт создания алюминиевого радиатора. — «Автомобильная промышленность», 1961, № 1, с. 24—27.
22. Рутенбург Г. Б. Эксплуатация и ремонт автомобильных радиаторов. М., Машгиз, 1955. 83 с.
23. Семин С. Специализация и себестоимость. — «Экономическая газета», 1961, 11 сентября.
24. Серковский С. И. Исследование конструктивных и тепловых параметров стального радиатора для тракторных двигателей. Труды НАТИ, ОНТИ, вып. 48, 1957, 58 с.
25. Степанов А. В. Будущее металлообработки. Лениздат, 1963. 131 с.
26. Тарановский С. В. Основные задачи при подготовке к широкому применению алюминиевых сплавов в строительстве. В кн. Строительные конструкции из алюминиевых сплавов. М., 1962. с. 4—21.
27. Тихенко Ю. Н., Флак В. Я. Коррозионная стойкость алюминиевых сплавов в строительных конструкциях. В кн. Строительные конструкции из алюминиевых сплавов. М., 1962. с. 85—116.
28. Эванс Ю. Р. Коррозия и окисление металлов. М., Машгиз, 1962. 856 с.
29. Agnew R. J., Truitt J. K., Robertson W. D. Corrosion of Metals in Ethylene Glycol Solution. — «Industrial and Engineering Chemistry», 1958, N 4, pp. 649—656.
30. Aluminium for radiators. — «Automobile Engineer», 1956, N 9, pp. 344—346.
31. Aluminum Radiators. — «SAE Journal», 1957, N 3, pp. 50—52.
32. Dumrath H. W. Ganzaluminium — Autokühler. «Aluminium», 1960, N 6, ss. 336—337.
33. Geschelin J. New radiator test facilities. — «Automotive Industries», July 1, 1953, pp. 54—57.
34. German and French radiators and oil coolers for aeronautical and automotive purposes. London, H. M. Stationary office, 1946, 118 p.
35. H an k e M., H r o m i z̄ M. Statistické zpracovani vysledkū zkoušky na unavu. — «Automobil», 1963, N 1, s. 8—12.
36. J e n s e n R. G. Radiators and then deaeration. SAE Annual Meet., Preprints, N 77v, 1959.
37. K l i n g e E. R. Truck Cooling System Airflow. SAE Annual Meet., Preprints, N 99c, 1958.
38. K o f f m a n J. L. Performance of Traction Radiators. — «Diesel Railway Traction», 1950, N 11, pp. 250—254.
39. K o f f m a n J. L. Some aspects of cooling system design for diesel engines. Diesel Engine Users Association, London, 1950. 30 p.
40. M a r c i n o w s k i H. Untersuchungen an Kreuzstromkühlsystemen. — «Allgemeine Wärmtechnik», 1959, N 2, ss. 29—33.
41. M a t s u m u r a K., U z u h a s h i H. Aluminum-brazing Compact Heat Exchanger for Car Cooler. — «Hitachi hyoron», 1961, N 8, pp. 1006—1010.
42. M e n k i n g H. V. Aluminum Automobile Radiators. — «Automotive Industries», October 15, 1956, pp. 52—53, 178, 182, 184, 186, 188.
43. P e r s o n F. W. Truck cooling system requirements. SAE Annual Meet., Preprints, N 99A, 1958.
44. Plastics sealed, light alloy radiator. — «Automobile Engineer», 1956, N 4, p. 163.
45. Radiator Design and Construction. — «Automobile Engineer», 1962, N 10, pp. 380—384.

46. S t e a d m a n G. S. Automobile cooling and its associated problems. — «IAE Journal», VIII—IX, vol. 10, 1939, pp. 27—53.
47. S u p p u s H. F. W. Die Technik des Evidal — Verfahren und ihre Anwendungsmöglichkeiten. — «Werkstofftechnik», 1959, N 1, ss. 31—34.
48. Š v e r e p a O., A k i m o w G. W. Korrosion des Aluminiums und seiner Legierungen in Wässern verschiedener Zusammensetzung. — «Werkstoffe und Korrosion», 1958, N 8/9, ss. 533—536.
49. Versatile heat-exchange material. — «Light Metals», 1960, N 271, pp. 326—327.
50. W e i r T. J. Let's reappraise the function of the fan. SAE Annual Meet., Preprints, N 77w, 1959.
51. Journal of the JSME, N 515, vol. 64, december, 1961, pp. 1672—1680.
52. E c k e r t B. Kühlgebläse für Verbrennungsmotoren. — «MTZ», 1940, N 10, ss. 316—327.
-

О Г Л А В Л Е Н И Е

Условные обозначения	5
Введение	9
Г л а в а I. Элементы рабочего процесса и расчет радиаторов	9
1. Теплопередача	—
2. Воздушный поток через радиатор (аэродинамическое сопротивление)	19
3. Циркуляция воды через радиатор	23
4. Метод сравнения поверхностей охлаждения	29
5. Радиатор — составная часть системы охлаждения	32
6. Расчет радиатора	35
Г л а в а II. Конструкция алюминиевых радиаторов	41
1. Алюминий как материал для изготовления радиаторов	—
2. Конструкция алюминиевых радиаторов	45
3. Сравнение эффективности поверхностей охлаждения	84
4. Унификация радиаторов	89
Г л а в а III. Технология изготовления алюминиевых радиаторов	95
1. Технология — важнейший фактор внедрения алюминиевых радиаторов	—
2. Пайка алюминиевых радиаторов	99
3. Сварка алюминиевых радиаторов	108
4. Другие методы изготовления алюминиевых радиаторов	119
5. Специализация производства алюминиевых радиаторов	133
Г л а в а IV. Защита от коррозии алюминиевых радиаторов	139
1. Процессы коррозии и их протекание в зависимости от условий эксплуатации радиаторов	—
2. Методы защиты от коррозии алюминиевых радиаторов	146
Г л а в а V. Испытания алюминиевых радиаторов	152
1. Испытания в аэродинамической трубе	153
2. Испытания гидравлического тракта радиаторов	157
3. Тепловые испытания радиатора как элемента системы охлаждения двигателя	159
4. Испытания радиаторов на плотность и прочность	163
5. Коррозионные испытания	165
6. Испытания радиаторов в дорожных условиях	168
7. Эксплуатационные испытания радиаторов	172
8. Измерительная аппаратура	173
	199

Глава VI. Особенности эксплуатации и ремонта алюминиевых радиаторов	176
1. Эксплуатация алюминиевых радиаторов	—
2. Ремонт алюминиевых радиаторов	179
Глава VII. Техничко-экономическая эффективность внедрения алюминиевых радиаторов	184
1. Себестоимость производства	—
2. Себестоимость эксплуатации и ремонта	191
3. Капитальные вложения	192
Литература	196

Редактор издательства *Л. И. Орлова*

Технический редактор *О. В. Сперанская*

Корректор *Л. Ф. Борисова*

Сдано в производство 18/V 1964 г. Подписано к печати 4/IX 1964 г. М-14005.
 Формат бумаги 60×90^{1/16}. Печ. листов 12,5. Уч.-изд. листов 12,1. Темплан 1964 г. № 328.
 Тираж 2400 экз. Цена 71 к. Заказ 1872

Ленинградская типография № 6 Главполиграфпрома
 Государственного комитета Совета Министров СССР по печати
 Ленинград, ул. Мойсеенко, 10

71 коп.



ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ»
Ленинград, Д-65, ул. Дзержинского, 10