

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА
MATHEMATICS AND MECHANICS

Тарануха Н. А., Петрова А. Н., Любушкина Н. Н.
N.A.Taranukha, A.N.Petrova, N.N.Lyubushkina

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ УПРУГОЙ СВЯЗИ
ИЗ НЕСТАНДАРТИЗИРОВАННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ С БОЛЬШИМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ**

**MATHEMATICAL MODEL OF DEFORMATION OF A FLEXIBLE COUPLING MADE
OF NON-STANDARDIZED MATERIAL FOR A DYNAMIC SYSTEM WITH LARGE
DEFORMATIONS**



Тарануха Николай Алексеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Кораблестроение» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: taranukha@knastu.ru.

Mr. Nikolay A. Taranukha – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Shipbuilding, Komsomolsk-on-Amur State Technical University. E-mail: taranukha@knastu.ru



Петрова Анна Николаевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры МОП ЭВМ Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: Petrovaan2006@yandex.ru.

Ms. Anna N. Petrova – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Computer Software and Computing, Komsomolsk-on-Amur State Technical University. E-mail: Petrovaan2006@yandex.ru



Любушкина Надежда Николаевна – доцент кафедры «Промышленная электроника» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: nadka_lub@mail.ru.

Ms. Nadezhda N. Lyubushkina – Associate Professor, Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-on-Amur State Technical University. E-mail: nadka_lub@mail.ru

Аннотация. В статье приведены результаты исследования нелинейно-упругого нестандартизированного материала, допускающего большие деформации, более 100 %. Проанализированы различные варианты математической модели для расчета модуля упругости.

Summary. This paper presents the results of a study of nonlinear-elastic non-standard material, allowing for large strains of more than 100%. Various options for a mathematical model to calculate the elastic modulus are analyzed.

Ключевые слова: нелинейные деформации, большие деформации, математическая модель, модуль упругости.

Key words: nonlinear deformation, large deformation, mathematical model, modulus of elasticity.

УДК 539.3:534.1:517.958:517.958

Введение

Для расчетов на прочность любых конструкций требуется знание закона деформирования $\sigma(\varepsilon)$ материала, из которого изготовлена конструкция. В случае линейно-упругой деформации достаточно знать модуль упругости E . В случае нелинейно-упругой деформации модуль упругости уже не константа, а некоторая функция, которую нужно определить.

Существуют материалы (резина), которые в процессе деформирования изменяют объем образцов. Для определения математической модели процесса деформирования нестандартизированного материала требуется выбор теоретических положений и допущений, вывод формул.

1. Описание эксперимента

Для формализации математической модели деформирования нестандартизированного материала необходим эксперимент. Для проведения физического эксперимента выбраны монолитные резиновые жгуты с разной формой поперечного сечения: образец 1 круглого поперечного сечения, образец 2 квадратного поперечного сечения, образец 3 прямоугольного поперечного сечения. Длина рабочей части каждого образца как минимум в 15 раз больше относительного размера поперечного сечения.

Анализ деформированного состояния основан на геометрических соотношениях. В продольном направлении стержень удлиняется на величину $\Delta l = \Delta y$, где Δy – перемещение конечной точки стержня вдоль оси OY после деформации. При растяжении происходит утонение и изменение размеров по соответствующим осям: Δx , Δz . Для увеличения точности и уменьшения погрешности делались многократные измерения геометрических размеров стержня. Экспериментальные данные нормировались.

По экспериментальным данным построены характеристики удлинения образцов в зависимости от величины приложенной силы (рис. 1, а). Далее по статье значение индекса определяет принадлежность образца.

Характеристика утонения образцов построена на рис. 1, б. Необходимо отметить, что утонение образцов в эксперименте происходило равномерно по всей длине, за исключением участков закрепления в опорах. Для большей точности промер производился в нескольких местах. Так как материал образцов изотропный, утонение по осям OX и OZ одинаковое.

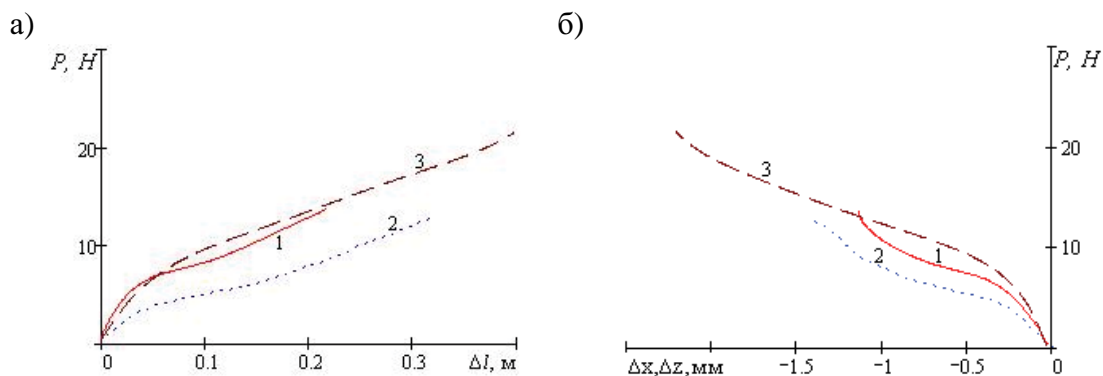


Рис. 1. Характеристики образцов: а – удлинения; б – утонения

Характеристики, приведенные на рис. 2, показывают, что удлинение и утонение происходят по нелинейному закону. Остаточные деформации у всех образцов не выявлены.

2. Определение деформации

Линейная деформация (мера Коши), представляется в виде:

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad (1)$$

где $\Delta l = l - l_0$ – удлинение образца; l_0 – длина образца до деформации; l – длина образца после деформации.

Относительная деформация не аддитивна, поэтому при большой деформации используют логарифмическую деформацию Генки:

$$\bar{\varepsilon}_y = \ln(1 + \varepsilon_y).$$

Считается, что за меру деформации можно принять любую безразмерную функцию от $1 + \varepsilon$, если при $(1 + \varepsilon) \rightarrow 1$ она вырождается в меру деформации Коши (1) [1].

Удлинение стержня в осевом направлении сопровождается уменьшением его поперечных размеров. При деформировании возникает не только продольная (в нашем случае $\varepsilon_y(\Delta l)$), но и поперечная деформация стержня $\varepsilon_x(\Delta l)$. По деформационным характеристикам было определено, что материал изотропный, поэтому $\varepsilon_x(\Delta l) = \varepsilon_z(\Delta l)$.

Отношение поперечной деформации к продольной определяет коэффициент Пуассона. При нелинейной деформации отношение поперечной деформации к продольной – это функция вида:

$$\mu(\Delta l) = \frac{\varepsilon_x(\Delta l)}{\varepsilon_y(\Delta l)} = \frac{\varepsilon_z(\Delta l)}{\varepsilon_y(\Delta l)}. \quad (2)$$

Коэффициент Пуассона не является величиной постоянной, он зависит от величины удлинения.

3. Определение нормальных напряжений

Упругий материал обладает свойствами сплошности, однородности и относительной упругости, поэтому перемещение всякой точки тела вызывается только деформациями ε_y , ε_x , ε_z . Напряжение в каждой точке – это функция деформации:

$$\sigma(\varepsilon) = f_\varepsilon(\varepsilon), \quad (3)$$

где f_ε – функция изменения напряжения от деформации.

Напряжение в стержне определяется отношением усилия в нем к площади поперечного сечения. Для исследуемого материала при больших деформациях происходили значительные изменения площади поперечного сечения образца.

Все дальнейшие расчеты ведутся с учетом изменения площади, которая определяется по формуле:

$$F(\Delta l) = F_0 \exp(-2\mu(\Delta l)\varepsilon_y(\Delta l)),$$

где F_0 – начальная площадь поперечного сечения.

Зависимость напряжения от деформации можно аппроксимировать различными функциями, в данном случае выбран полином пятой степени.

На рис. 2, а построены деформационные характеристики для различных мер деформаций, на рис. 2, б показано сравнение деформационных характеристик для образцов трех форм поперечного сечения.

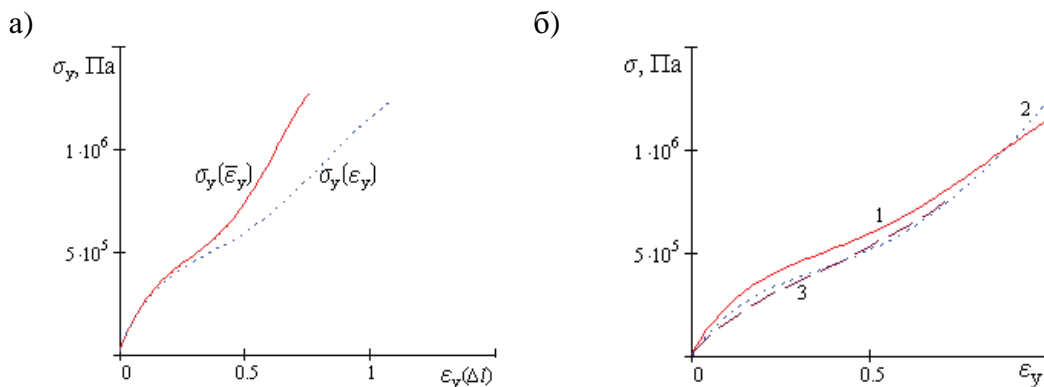


Рис. 2. Деформационные характеристики

Из графиков видно, что деформационная характеристика является нелинейной. Модуль упругости является универсальной характеристикой материала (он не зависит от геометрических характеристик). Данное обстоятельство будет использовано в качестве критерия при выборе наиболее адекватного варианта расчета модуля упругости. Ниже рассмотрены три варианта расчета модуля упругости.

4. Определение модулей упругости нестандартизированного материала упругой связи

Если закон деформирования материала упругой связи определен нелинейной функцией, то по деформационной теории пластичности модуль упругости можно определить двумя способами: как секущий или касательный. Секущий модуль не учитывает историю предварительного нагружения материала, поэтому его определяют через логарифмическую меру деформации. Касательный модуль можно определить через относительную меру деформации.

4.1. Секущий модуль упругости

Независимо от вида напряженного состояния, существует единая зависимость между интенсивностью напряжений σ_i и интенсивностью деформаций ε_i , т.е. по аналогии с теорией упругости:

$$\sigma_i = 3G \cdot \varepsilon_i,$$

где G – модуль упругости второго рода.

Ввиду того, что кривая напряжения не зависит от вида напряженного состояния, ее можно экспериментально получить при простом растяжении, а затем перестроить в интенсивности.

При растяжении образца вдоль оси OY :

$$\sigma_i = \sigma_y, \quad \varepsilon_i = \frac{2}{3}(1 + \mu(\Delta l))\varepsilon_y(\Delta l).$$

Для логарифмической меры деформации определяется секущий модуль упругости $E_{сек}$ по формуле

$$E_{сек}(\Delta l) = \frac{\sigma_i(\Delta l)}{\bar{\varepsilon}_i(\Delta l)}. \quad (4)$$

Сравнение секущих модулей упругости для различных образцов выполнено на рис. 3, а.

4.2. Касательный модуль упругости

По деформационной характеристике $\sigma_y(\varepsilon_y)$ (см. рис. 2, б) касательный модуль упругости $E_{кас}$ найден по формуле

$$E_{кас}(\Delta l) = \frac{d}{d\Delta l}(\sigma(\varepsilon(\Delta l))). \quad (5)$$

Сравнение касательных модулей упругости для разных образцов показано на рис. 3, б.

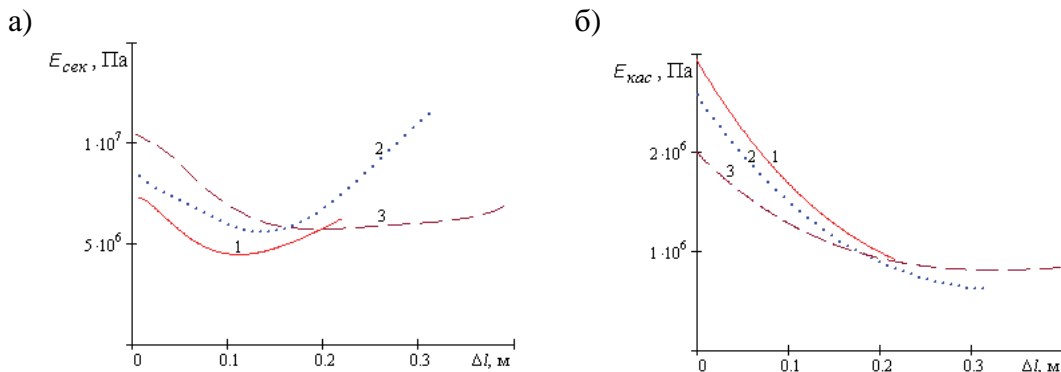


Рис. 3. Модули упругости для разных форм поперечного сечения образцов: а – секущий; б – касательный

По рис. 3 можно сказать, что каждому образцу соответствует свой модуль упругости: секущий и касательный. Это обстоятельство требует исследования и поиска иного способа определения модуля упругости.

4.3. Приведенный модуль упругости для объемной деформации

Поскольку напряженно-деформированное состояние описывается нелинейной функцией, то при выводе обобщенного закона в форме компонентов деформации должна быть предусмотрена возможность учета нелинейных особенностей рассматриваемого процесса на стадии вывода формулы [2].

Для нелинейной деформации была введена функция отношения деформаций $\mu(\Delta l)$ (2), определяющая физические свойства материала [2]. Предполагая справедливым закон независимости действия нагрузок [3], полные деформации вдоль каждой из осей $\varepsilon_y(\Delta l)$, $\varepsilon_x(\Delta l)$, $\varepsilon_z(\Delta l)$ определяются соотношениями, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Ось	Деформация	$\sigma_x(\Delta l)$	$\sigma_y(\Delta l)$	$\sigma_z(\Delta l)$
OX	$\varepsilon_x(\Delta l)$	$\varepsilon_x(\sigma_x)$	$-\mu_{xy}(\Delta l) \cdot \varepsilon_y(\sigma_y)$	$-\mu_{xz}(\Delta l) \cdot \varepsilon_z(\sigma_z)$
OY	$\varepsilon_y(\Delta l)$	$-\mu_{yx}(\Delta l) \cdot \varepsilon_x(\sigma_x)$	$\varepsilon_y(\sigma_y)$	$-\mu_{yz}(\Delta l) \cdot \varepsilon_z(\sigma_z)$
OZ	$\varepsilon_z(\Delta l)$	$-\mu_{zx}(\Delta l) \cdot \varepsilon_x(\sigma_x)$	$-\mu_{zy}(\Delta l) \cdot \varepsilon_y(\sigma_y)$	$\varepsilon_z(\sigma_z)$

Полученная система уравнений представляет одну из форм записи обобщенного закона деформации. Обобщенное уравнение имеет вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x(\Delta l) + \varepsilon_y(\Delta l) + \varepsilon_z(\Delta l) = & (\varepsilon_x(\sigma_x) - \mu_{xy}(\Delta l) \cdot \varepsilon_y(\sigma_y) - \mu_{xz}(\Delta l) \cdot \varepsilon_z(\sigma_z)) + \\ & + (\varepsilon_y(\sigma_y) - \mu_{yx}(\Delta l) \cdot \varepsilon_x(\sigma_x) - \mu_{yz}(\Delta l) \cdot \varepsilon_z(\sigma_z)) + \\ & + (\varepsilon_z(\sigma_z) - \mu_{zx}(\Delta l) \cdot \varepsilon_x(\sigma_x) - \mu_{zy}(\Delta l) \cdot \varepsilon_y(\sigma_y)) \end{aligned}$$

Введем допущение: сечение образца по оси OY постоянно, материал изотропен, следовательно, $\mu_{yx}(\Delta l) = \mu_{zx}(\Delta l) = \dots = \mu_{yz}(\Delta l) = \mu(\Delta l)$. Исследуется одноосное растяжение вдоль оси OY , поэтому с учетом гипотезы о ненадавливании волокон друг на друга $\sigma_x = \sigma_z = 0$. Следовательно, соответствующие им деформации $\varepsilon_x(\sigma_x) = \varepsilon_z(\sigma_z) = 0$.

После учета допущений обобщенное уравнение имеет вид

$$\varepsilon_x(\Delta l) + \varepsilon_y(\Delta l) + \varepsilon_z(\Delta l) = \varepsilon_y(\sigma_y) \cdot (1 - 2\mu(\Delta l)). \quad (6)$$

Из (6) продольная деформация выражается в виде

$$\varepsilon_y(\sigma_y(\Delta l)) = \frac{\varepsilon_x(\Delta l) + \varepsilon_y(\Delta l) + \varepsilon_z(\Delta l)}{1 - 2\mu(\Delta l)}.$$

Полученную деформацию ε_y можно использовать в качестве аргумента для определения напряжения по формуле (3):

$$\sigma_y(\varepsilon_y(\Delta l)) = \sigma_y \left(\frac{\varepsilon_x(\Delta l) + \varepsilon_y(\Delta l) + \varepsilon_z(\Delta l)}{1 - 2\mu(\Delta l)} \right). \quad (7)$$

С другой стороны, по аналогии с классической теорией упругости введем линеаризующее допущение, для случая растяжения вдоль оси OY деформацию можно определить:

$$\varepsilon_x(\Delta l) + \varepsilon_y(\Delta l) + \varepsilon_z(\Delta l) = \frac{1}{E_{np}(\Delta l)} (\sigma_y(\varepsilon_y(\Delta l))),$$

где $E_{np}(\Delta l)$ – приведенный модуль упругости.

Подставляя σ_y из (7), получим:

$$E_{np}(\Delta l) = \frac{(\sigma_y(\varepsilon_y(\Delta l)))}{\varepsilon_x(\Delta l) + \varepsilon_y(\Delta l) + \varepsilon_z(\Delta l)} = \frac{\left(\sigma_y\left(\frac{\varepsilon_x(\Delta l) + \varepsilon_y(\Delta l) + \varepsilon_z(\Delta l)}{1 - 2\mu(\Delta l)}\right)\right)}{\varepsilon_x(\Delta l) + \varepsilon_y(\Delta l) + \varepsilon_z(\Delta l)}. \quad (8)$$

На рис. 4 приведены графики изменения приведенного модуля упругости для образцов с разной формой поперечного сечения, выполненных из одного материала.

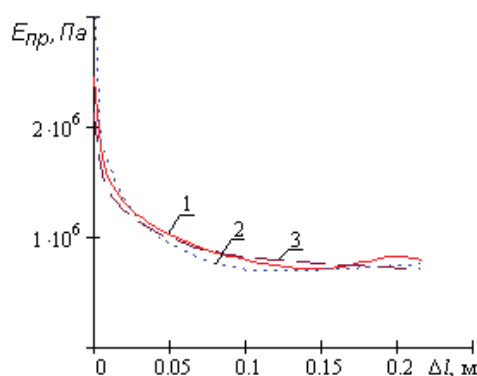


Рис. 4. Приведенный модуль упругости для разных форм образцов

Графики хорошо согласуются, так как приведенный модуль выведен для обобщенного закона с учетом нелинейности деформации материала, поэтому отклонения незначительны.

Заключение

Сравнивая применение текущего модуля упругости, определенного по (4), касательного модуля упругости, определенного по (5), и приведенного модуля упругости, определенного по (8), можно сделать вывод, что при больших деформациях приведенный модуль упругости лучше отражает упругие свойства нестандартизированного материала [4,7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Пановко, Я. И. Устойчивость и колебания упругих систем: современные концепции, парадоксы и ошибки / Я. И. Пановко, И. И. Губанова. – М.: Наука, 1987. – 352 с.
2. Тарануха, Н. А. Математическое моделирование колебательных процессов в стержне с большими деформациями / Н. А. Тарануха, А. Н. Петрова, Н. Н. Любушкина. – Комсомольск-на-Амуре, ГОУВПО «КнАГТУ», 2007. – 19 с. – Деп. в ВИНТИ 26.09.2007. 903-В2007.
3. Тарануха, Н. А. Теория упругости: учеб. пособие / Н. А. Тарануха. – Хабаровск: ХПИ, 1991. – 87 с.
4. Любушкина, Н. Н. Программно-информационное обеспечение задачи о колебаниях стержня с большими деформациями / Н. Н. Любушкина, А. Н. Петрова, Н. А. Тарануха // Информатика и системы управления. – 2007. – № 2 (14) – С. 30–39.
5. Тарануха, Н. А. Математическое моделирование колебаний сложных оболочек. Гидроупругая постановка с учетом сопротивления / Н. А. Тарануха, О. В. Журбин. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 253 с.
6. Тарануха, Н. А. Программно-аппаратный комплекс по обработке результатов эксперимента колеблющейся системы / Н. А. Тарануха, А. Н. Петрова, Н. Н. Любушкина. – Комсомольск-на-Амуре, ГОУВПО «КнАГТУ», 2007. – 12 с. – Деп. в ВИНТИ 26.09.2007. 902-В2007.
7. Тарануха, Н. А. Механика морских динамических систем с большими деформациями из нестандартизированного материала / Н. А. Тарануха, А. Н. Петрова, Н. Н. Любушкина. // Морские интеллектуальные технологии. – 2010. – № 3.



Лошманов А.Ю.
A.Yu. Loshmanov

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПОЛЕЙ ДЕФОРМАЦИЙ
В НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

**MATHEMATICAL FORMULATION OF STRAIN FIELDS IN SOME PROBLEMS OF
METALFORMING**

Лошманов Антон Юрьевич – кандидат физико-математических наук, заместитель заведующего кафедрой ПМИ Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Комсомольск-на-Амуре, проспект Ленина, 27.

E-mail: loshmanov@kmscom.ru.

Mr. Anton Yu. Loshmanov – PhD in Physics and Mathematics, Deputy Head of the Department of Applied Mathematics and Information Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: loshmanov@kmscom.ru.

Аннотация. Представлен анализ полей остаточных деформаций в окрестности их особенностей (точек, линий разрыва поля скоростей перемещений) в ряде задач обработки металлов давлением.

Summary. The paper presents analysis of strain residual fields in the neighborhood of their features (i.e. points, lines of discontinuity of the displacement/velocity field) exemplified by some problems of metal forming by pressure.

Ключевые слова: деформации, линия разрыва, поле скоростей.

Key words: strain, line of discontinuity, velocity field.

УДК 539.374

Введение

Одной из проблем при решении задач механики деформируемого твердого тела является то, что деформации в пластической области распределяются крайне неравномерно. Основные деформации, как правило, наблюдаются на особенностях поля скоростей перемещений (точек, линий и поверхностей разрывов различного порядка), а также в окрестности точек резкого изменения формы тела (например, угловых точек). Деформации на них значительно превышают деформации в непрерывном поле скоростей перемещений и могут определять процессы разрушения материала. Поэтому особый интерес представляет определение полей деформаций именно в окрестности этих особенностей.

При технологических процессах, таких как прокатка, прессование, штамповка и тому подобные процессы, необратимые деформации достигают десятков и сотен процентов. По сравнению с ними обратимые (упругие) деформации ничтожно малы (около 1 %), и ими следует пренебречь [2]. Поэтому применение теории идеального жесткопластического тела к подобным задачам является оправданным. Более того, эта модель является предельной по отношению к другим более сложным моделям деформируемых сред (упрочняющемуся жесткопластическому телу, упрочняющемуся упругопластическому телу и т.п.). Поэтому решения, полученные в ее рамках, могут служить оценкой для более сложных процессов деформирования [4].

Целью работы является жесткопластический анализ параметров поля деформаций в окрестности его сингулярностей (центра веера поля линий скольжения и линии разрыва скоростей перемещений) в некоторых задачах обработки металлов давлением.

Основные соотношения

В классической теории идеального жесткопластического тела связь между компонентами тензора напряжений σ_{ij} и компонентами тензора скоростей деформаций ε_{ij} определяется ассоциированным законом пластического течения

$$\varepsilon_{ij} = \lambda \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}}, \quad \lambda > 0, \quad i, j = 1, 2, 3, \quad (1)$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right),$$

где $f(\sigma_{ij})$ – функция текучести, V_i – вектор скорости перемещений.

Будем рассматривать идеальное жесткопластическое тело [1] при условии текучести

$$(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + 4\sigma_{12}^2 = 4k^2,$$

удовлетворяющем условию несжимаемости, которое следует из (1)

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0.$$

В качестве меры деформаций будем использовать тензор конечных деформаций Альманси E_{ij} , который связан с дисторсией $A_{ij} = \partial X_j / \partial x_i$ соотношением

$$E_{ij} = \frac{1}{2} (\delta_{ij} - A_{ik} A_{jk}), \quad i, j = 1, 2, 3, \quad (2)$$

где X_i, x_i – соответственно лагранжевы и эйлеровы координаты.

Тензоры E_{ij} и ε_{ij} связаны соотношением

$$\frac{DE_{ij}}{Dt} = \frac{dE_{ij}}{dt} + E_{ik} \frac{\partial V_k}{\partial x_j} + E_{jk} \frac{\partial V_k}{\partial x_i} = \varepsilon_{ij}, \quad k = 1, 2, 3, \quad (3)$$

где $\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} V_k$. В компонентах дисторсии (3) примет вид:

$$\frac{DA_{ij}}{Dt} = \frac{\partial A_{ij}}{\partial t} + \frac{\partial A_{ij}}{\partial x_k} V_k + A_{kj} \frac{\partial V_k}{\partial x_i} = 0, \quad k = 1, 2, 3. \quad (4)$$

Ниже рассматриваются примеры интегрирования систем уравнений (3), (4) в окрестности точек разрыва поля скоростей перемещений в условиях плоской деформации.

Уравнения (3) описывают процесс накопления деформаций в областях с непрерывным полем скоростей перемещения. Процесс локализации деформаций в окрестности точки разрыва поля скоростей перемещений, являющегося центром веера линий скольжения, описывается соотношениями (4).

Решение задач теории плоской деформации идеального жесткопластического тела основано на построении двух взаимно ортогональных семейств линий скольжения α и β , касательные к которым совпадают в любой точке с направлением максимальных касательных напряжений и скорости деформации сдвига. Дифференциальные уравнения линий скольжения:

$$\left(\frac{dy}{dx} \right)_1 = \operatorname{tg} \varphi, \quad \left(\frac{dy}{dx} \right)_2 = -\operatorname{ctg} \varphi,$$

где φ – направленный против движения часовой стрелки угол наклона характеристик семейства α к оси абсцисс.

Проекции вектора скорости перемещения u и v на криволинейные оси α и β удовлетворяют соотношениям Гейрингера:

$$du - v d\varphi = 0, \quad dv + u d\varphi = 0.$$

В [3, 4, 5] на основе теории разрывов Адамара-Томаса получены соотношения, определяющие деформации на линии разрыва скоростей перемещений. Изменение компонентов тензора Альманси на линии разрыва выражается через величину $W = H/k$, где абсолютное значение величины

$$H = \frac{[V_\tau]}{G + V_v} k \quad (5)$$

имеет физический смысл объемной плотности энергии диссипации, получаемой материальной частицей при пересечении линии разрыва скоростей перемещений. В (5) $[V_\tau]$ – разрыв касательной составляющей скорости перемещений, G – нормальная скорость распространения линии разрыва, V_v – нормальная компонента скорости движения частиц на линии разрыва. Тогда тензор Альманси определяется следующим образом:

$$E_{ij} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & -W \\ -W & -W^2 \end{bmatrix}.$$

Некоторые задачи обработки металлов давлением

Рассмотрим течение жесткопластического материала по каналу постоянной высоты с угловым изгибом [3]. Предполагается, что внутренняя поверхность канала абсолютно гладкая. Пусть скорость движения материала в канале равна \mathbf{V} , скорость угловой точки канала – $\mathbf{m} = a'(t)\mathbf{i} + b'(t)\mathbf{j}$ (рис. 1).

Пластическая область состоит из централизованного веера OAB : α -линии – окружности с центром в точке O , β -линии – прямые, сходящиеся в точке O . Поле скоростей в централизованном веере OAB имеет вид:

$$u = -(V + m), \quad v = 0. \quad (6)$$

В выбранной системе координат центр веера OAB является неподвижным:

$$a'(t) \equiv 0, \quad b'(t) \equiv 0, \quad \frac{\partial v}{\partial \alpha} = 0. \quad (7)$$

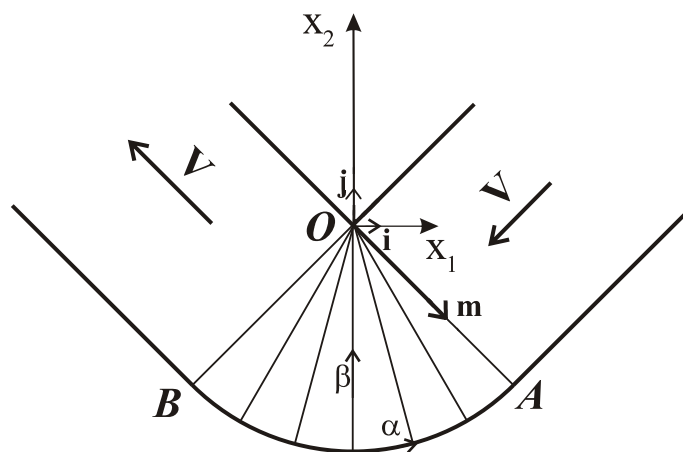


Рис. 1. Канал постоянной высоты

Когда в центре веера линий скольжения сходятся линии семейства β , то, переходя к пределу $R \rightarrow 0$, $S \rightarrow \infty$ и учитывая (6) – (7), система дифференциальных уравнений (4) преобразуется в две независимые системы обыкновенных дифференциальных уравнений [5]:

$$\begin{cases} \frac{da_{11}}{d\alpha} - a_{11} \sin \alpha \cos \alpha + a_{21} \cos^2 \alpha = 0, & \frac{da_{12}}{d\alpha} - a_{12} \sin \alpha \cos \alpha + a_{22} \cos^2 \alpha = 0, \\ \frac{da_{21}}{d\alpha} - a_{11} \sin^2 \alpha + a_{21} \sin \alpha \cos \alpha = 0, & \frac{da_{22}}{d\alpha} - a_{12} \sin^2 \alpha + a_{22} \sin \alpha \cos \alpha = 0, \end{cases} \quad (8)$$

где $\alpha \in \left[\frac{\pi}{4}, -\frac{\pi}{4} \right]$.

Материал до попадания в веер не деформировался, тогда начальными условиями для систем уравнений (8) являются:

$$\alpha_0 = \frac{\pi}{4}, \quad A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Тогда частные решения систем (8) будут иметь вид:

$$a_{11} = \frac{\sqrt{2}}{2} (\operatorname{ctg} \alpha + \alpha) \sin \alpha + \frac{\sqrt{2}}{2} \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \sin \alpha,$$

$$a_{21} = \frac{\sqrt{2}}{2} (1 + \alpha \operatorname{ctg} \alpha) \sin \alpha + \frac{\sqrt{2}}{2} \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha - \frac{\sqrt{2}}{2 \cos \alpha} \left(1 - \frac{\pi}{4} + \alpha \right).$$

$$a_{12} = \frac{\sqrt{2}}{2} (\operatorname{ctg} \alpha + \alpha) \sin \alpha - \frac{\sqrt{2}}{2} \left(1 + \frac{\pi}{4} \right) \sin \alpha,$$

$$a_{22} = \frac{\sqrt{2}}{2} (1 + \alpha \operatorname{ctg} \alpha) \sin \alpha - \frac{\sqrt{2}}{2} \left(1 + \frac{\pi}{4} \right) \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha + \frac{\sqrt{2}}{2 \cos \alpha} \left(1 + \frac{\pi}{4} - \alpha \right).$$

Подставляя найденные компоненты дисторсии в (2), получим распределение деформаций в окрестности центра веера OAB линий скольжения [5] (рис. 2).

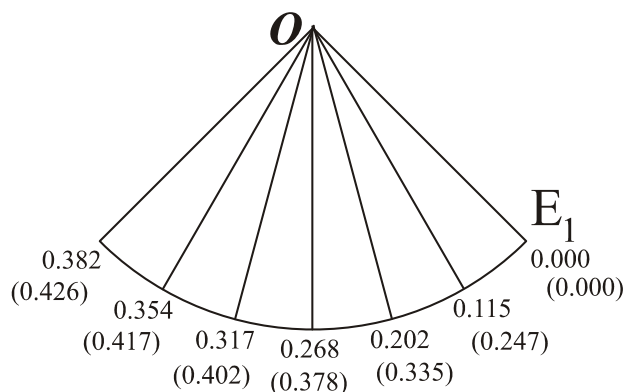


Рис. 2. Распределение деформаций

Удельная мощность диссипации энергии определяется выражением

$$D = \sigma_{ij} \varepsilon_{ij} = 2\tau_{\max} \varepsilon_{\max},$$

где τ_{\max} – максимальное касательное напряжение, ε_{\max} – максимальная скорость сдвига

$$\tau_{\max} = k, \quad \varepsilon_{\max} = \frac{1}{R} \left(\frac{\partial v}{\partial \alpha} + u \right) - \frac{1}{S} \left(\frac{\partial u}{\partial \beta} - v \right).$$

В рассматриваемом пластическом течении (см. рис. 1) траектории движения частиц совпадают с семейством α -линий и являются окружностями с центром в точке O :

$$\frac{\partial u}{\partial \beta} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial \alpha} = 0, \quad u = V, \quad v = 0, \quad S = \infty.$$

Поэтому

$$D = 2kV.$$

Время нахождения частицы в веере $T = \frac{\delta R}{V}$, где δ – угол нахождения частицы внутри веера линий скольжения семейства β , отсчитываемый от линии OA .

Удельная диссипация энергии частиц в окрестности точки O определяется в виде

$$H = \int_0^T D dt = 2k\delta, \quad W = \frac{H}{k} = 2\delta.$$

На рис. 2 представлено также распределение деформаций (в скобках) в окрестности точки O при движении центра веера вниз со скоростью $\mathbf{m} = -\mathbf{j}$, что соответствует пластическому течению при внедрении с единичной скоростью плоского штампа в полупространство. Сравнивая полученные значения, видно, что распределение деформаций в окрестности центра веера линий скольжения существенно зависит от его движения.

Исследуем прессование полосы через прямоугольную матрицу [3]. Прессование в условиях плоской деформации рассматривали В.В.Соколовский, Р. Хилл, Быковцев Г.И.

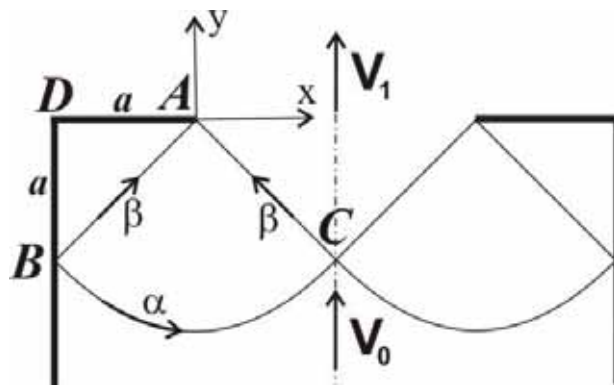


Рис. 3. Прямое прессование

Допустим, что матрица симметрична и имеет жесткие прямолинейные стенки (рис. 3). Через матрицу прессуется полоса из идеального жесткопластического материала: полоса (начальная толщина H), двигаясь со скоростью V_0 под давлением снизу, выходит из матрицы с редуцированной толщиной h . Вследствие несжимаемости материала скорость полосы на выходе из матрицы $V_1 = \frac{H}{h} V_0$. Будем рассматривать матрицу с редуцированием в 50 %, т.е. с обжатием заготовки $R = 1 - \frac{h}{H} = \frac{1}{2}$ и скоростью на выходе

$$V_1 = 2V_0.$$

Вследствие симметрии пластической области рассмотрим только одну половину пластической области по левую сторону от линии симметрии. Полагается, что α -линии – окружности с центром в точке A , β -линии – прямые, сходящиеся в точке A . Пластическая область состоит из централизованного веера ABC и жесткой зоны ADB .

Граничные условия для скоростей на жесткопластических границах имеют следующий вид:

- на линии BC : $v = V_0 \cos \varphi$, $\varphi \in \left[-\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{4}\right]$;

- на линии AC : $u = \sqrt{2}V_0$;

- на линии BA : $u = 0$.

Поле скоростей в центрированном веере, вследствие соотношений (6), примет вид:

$$u = V_0 \left(\sin \varphi + \frac{\sqrt{2}}{2} \right), \quad v = V_0 \cos \varphi.$$

Используя соотношения на линиях разрыва скоростей перемещений (5) и решая систему дифференциальных уравнений (4), получим распределение поля остаточных деформаций в полосе на выходе из матрицы (рис. 4) (вследствие симметрии процесса показана половина чертежа).

Предложенный подход позволяет описывать поле остаточных деформаций при технологических процессах обработки металлов давлением: в листовых деталях при их выглаживании угловым штампом; при прямом и обратном прессовании полосы через прямоугольную матрицу, при прошивке полосы.

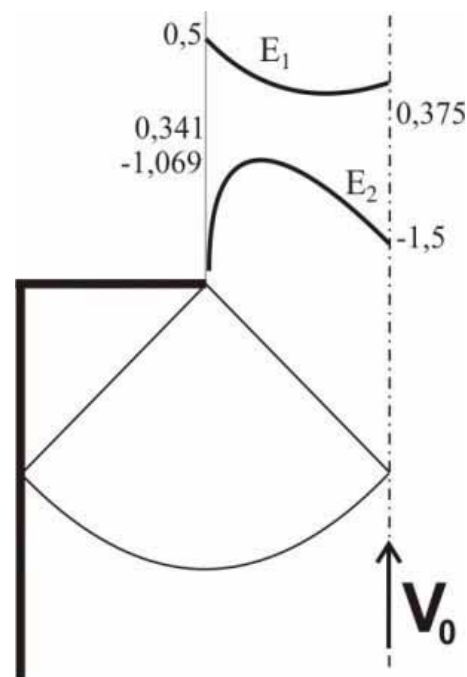


Рис. 4. Деформации

ЛИТЕРАТУРА

1. Быковцев, Г. И. Теория пластичности / Г. И. Быковцев, Д. Д. Ивлев. – Владивосток: Дальнаука, 1998. – 529 с.
2. Друянов, Б. А. Теория технологической пластичности / Б. А. Друянов, Р. И. Непершин. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.
3. Лошманов, А. Ю. Расчет полей деформаций в задачах обработки материалов давлением / А. Ю. Лошманов // Вестник ДВО РАН. – 2006. – № 4. – С. 127-133.
4. Хромов, А. И. Деформация и разрушение жесткопластических тел / А.И. Хромов. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 181 с.
5. Хромов, А. И. Концентраторы деформаций / А. И. Хромов, А. А. Буханько, С. Л. Степанов // Доклады АН. – 2006. – Т. 407. – № 1.

Гусева Р. И.
R. I. Guseva

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ СБОРКИ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ ПЛАНЕРА САМОЛЕТА

ON THE ISSUE OF THE CALCULATION OF ASSEMBLING ACCURACY FOR UNITS AND COMPONENTS OF THE FRAME OF AN AIRCRAFT

Гусева Роза Ивановна – кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология самолетостроения», зам. декана самолетостроительного факультета Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: r_guseva@knastu.ru.

Ms. Roza I. Guseva – PhD in Engineering, Professor, Department of Aircraft Engineering, Deputy Dean of the Aircraft Engineering Faculty, Komsomolsk-on-Amur State Technical University E-mail: r_guseva@knastu.ru

Аннотация. Рассмотрены современные методы обеспечения точности и взаимозаменяемости узлов и агрегатов планера самолета, способы базирования элементов при сборке применительно к расчету ожидаемой точности сборки изделия.

Summary. The paper considers state-of-the-art methods for ensuring accuracy and interchangeability of parts and components of an aircraft's frame; ways of referencing components during assembly subject to the calculation of the expected assembling accuracy.

Ключевые слова: точность, взаимозаменяемость, способы базирования, узел, агрегат, плазово-шаблонный, электронный, сборка самолета.

Key words: accuracy, interchangeability, referencing methods, unit, plant, slot&template, electronic, aircraft assembling.

УДК 629.735

В самолетостроении сборку узлов, секций, отсеков, агрегатов планера самолета ведут с использованием специальных методов обеспечения взаимозаменяемости и точности сборочных контуров.

Для сборки узлов, отсеков и агрегатов из **нежестких деталей** в самолетостроении используют **зависимый (связанный) и независимый (электронный)** методы увязки размеров деталей и оснастки.

Принцип **связанного метода** обеспечения взаимозаменяемости основан на использовании **жестких носителей форм и размеров** в виде плазов и шаблонов и специальной контрольной оснастки в виде контрэталонов и эталонов, слепков и макетов поверхностей планера. Принцип связанного метода в самолетостроении реализуется как плазово-шаблонный метод обеспечения взаимозаменяемости и его модификации (макетно-инструментальный; эталонный).

Например, для обеспечения точности и взаимозаменяемости крыла самолета на рис. 1 представлен основной состав контрольно-эталонной оснастки, применяемый при изготовлении крыла самолета плазово-шаблонным методом.

Более усовершенствованным связанным методом обеспечения взаимозаменяемости отсеков и агрегатов планера является эталонно-шаблонный метод, в котором используются большее количество контрольной оснастки в виде эталонов, а также контрольные и рабочие шаблоны.

Структурная схема увязки размеров и форм обшивки и элементов оснастки при использовании эталонно-шаблонного метода может быть составлена в таком виде:



где ТП, КП, ШКК – соответственно теоретический плаз, конструктивный плаз, шаблоны контроля контура; КЭ, Э, МЭ – соответственно контрэтalon, этalon, монтажный этalon.

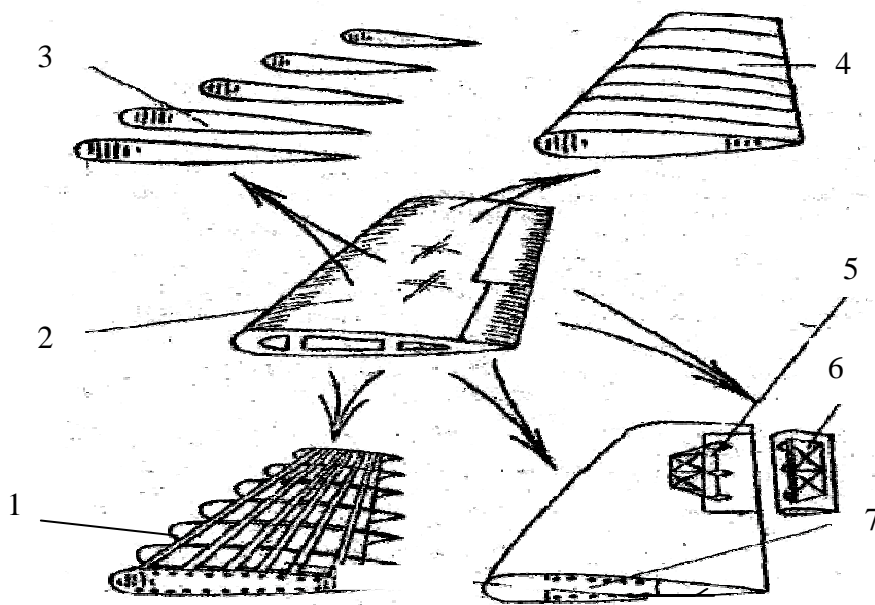


Рис. 1. Состав контрольной оснастки для крыла: 1 – комплексный этalon крыла; 2 – крыло; 3 – шаблоны сечений; 4 – этalon поверхности крыла; 5 – калибр разъема крыла с элероном; 6 – калибр разъема элерона с крылом; 7 – плита разъема крыла с фюзеляжем (центропланом)

Изготовление плазов, шаблонов, эталонных и другой контрольной и технологической оснастки является дорогостоящим и трудоемким процессом. Для крупногабаритного самолета изготовление такой оснастки потребует больших затрат как на материал, так и на технологическую документацию. Сопоставление допусков по стыкам и разъемам современных самолетов показывает, что изготовление жестких носителей размеров и форм целесообразно, если их размеры не превышают 2500 мм.

При дальнейшем увеличении размеров идет резкое возрастание погрешностей монтажа базовых, обводообразующих и стыковых узлов макетов каркаса, погрешностей из-за деформации макета от собственного веса при выставлении их в стапеле, а также температурной погрешности.

В последнее время на заводах отрасли внедряется специальный **независимый метод**, с применением которого получают сложные аэродинамические обводы планера самолета без применения жестких носителей размеров и форм деталей, узлов и агрегатов; который позволяет использовать упрощенные конструкции сборочной оснастки (стапелей, стенов) без снижения точности сборки изделия.

Принцип **независимого метода** обеспечения взаимозаменяемости узлов и агрегатов основан на использовании электронных моделей, выполненных с применением современных информационных технологий; разработке управляющих программ (УП) для станков с ЧПУ и использовании контрольно-измерительных машин (КИМ).

Сущность **независимого метода** состоит в том, что, используя программное обеспечение современных ЭВМ, параметризацией строят электронные модели (ЭМ) как самого изделия, так и его сборки. Затем разрабатывают УП, которые передаются на СЧПУ и координатно-расточные станки, с их помощью изготавливаются элементы деталей и оснастки. Готовые детали проходят контроль на КИМ, где проводится сравнение размеров и форм изготовленной детали с выводом на экраны монитора реальных отклонений размеров детали от теоретических размеров.

Появление интегрированных систем высокого уровня CAD/CAM/CAE ("Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing/Computer Aided Engineering") позволяет выполнять электронное описание объекта производства с точностью до 1 – 3 микрон.

Если при сборке изделия использовать независимый электронный метод увязки, то один из вариантов структурной схемы увязки (согласование размеров и формы обшивки планера) может быть такой:



где ЭМ, ИС, ЛЦИС – соответственно электронная модель, инструментальный стенд, лазерные центрирующие измерительные системы.

Схема увязки **независимым** методом применительно к сборке кессона крыла самолета представлена на рис. 2.

Целесообразность применения связанного (ПШМ) или независимого электронного метода в каждом конкретном случае определяется в зависимости от различных факторов: габаритов самолета, программы выпуска, энергооснащенности авиационного предприятия.

Для расчёта ожидаемой точности сборки узла или агрегата необходима следующая документация:

- технические требования или условия ТУ на точность сборки (допускаемые отклонения контура) изготавливаемого изделия;
- используемый способ базирования, который обеспечит заданную точность;
- выбранный метод взаимозаменяемости и разработанная схема увязки размеров деталей и оснастки для сборки узла или агрегата.

Ожидаемая, расчётная точность сборки изделия определяется погрешностями сборки и зависит от способов базирования и схемы увязки.

Для различных способов базирования при сборке используют различные уравнения погрешности.

При использовании **способа базирования по внешней поверхности обшивки** применяют следующее уравнение погрешности сборки:

$$0,6\delta_{сб} = \delta_{пр} + \delta_{кон(пр-дет)}K_{приж} , \quad (1)$$

где $\delta_{сб}$ – точность сборки готового агрегата; $\delta_{пр}$ – погрешность сборочного приспособления; $\delta_{кон(пр-дет)}$ – погрешность увязки приспособления и устанавливаемой детали; $K_{приж}$ – коэффициент прижима.

Коэффициент прижима рубильников характеризует степень фиксации изделия при сборке, выбирается в зависимости от длины изделия и числа прижимов в сборочном приспособлении.

Коэффициент 0,6 в левой части уравнения (1) учитывает сумму погрешностей клепки $\delta_{кл}$, деформаций деталей $\delta_{деф}$ и изменений температуры в процессе сборки $\delta_{темп}$ (до 40 % всей погрешности сборки).

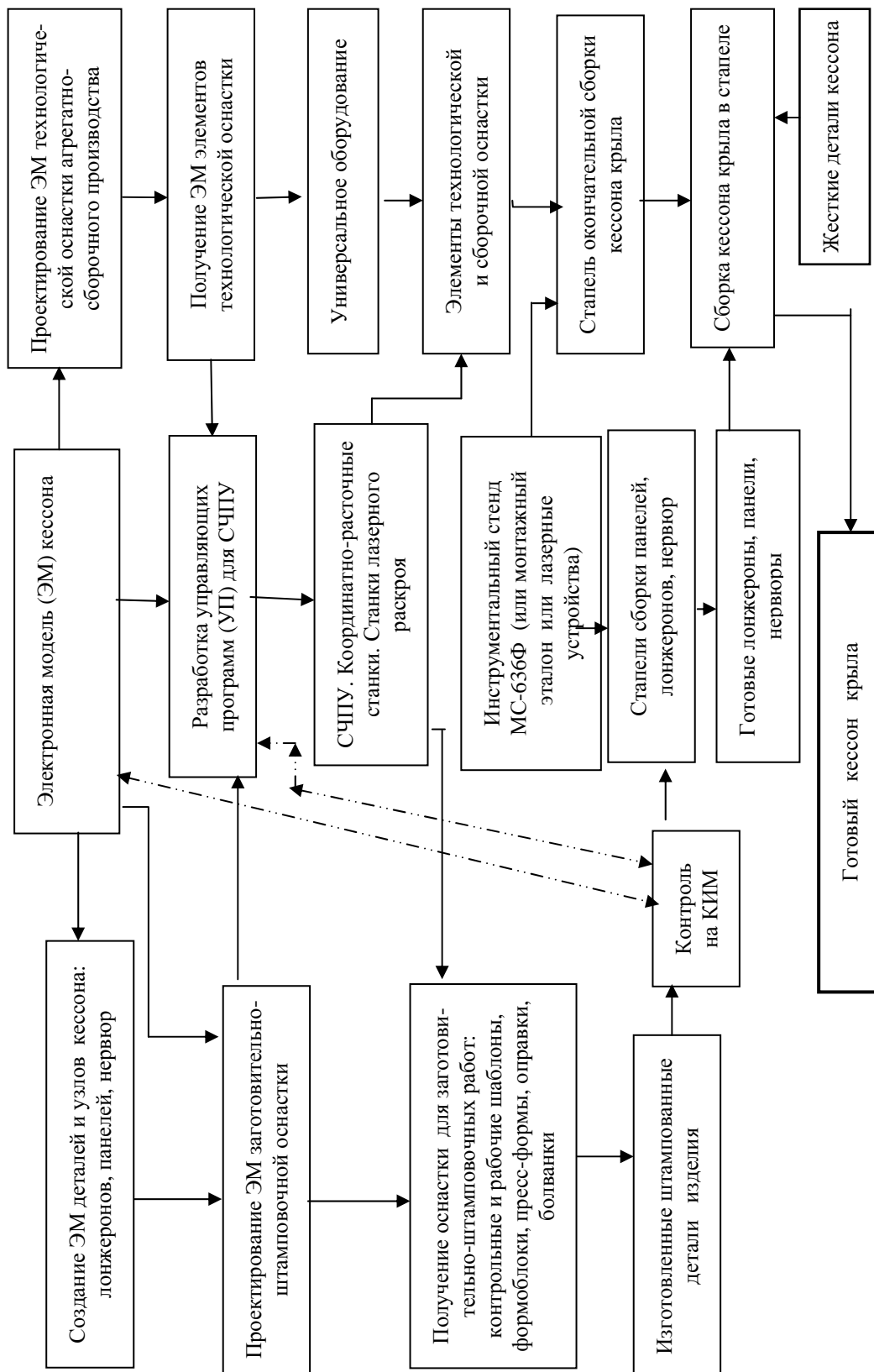


Рис. 2. Схема увязки размеров элементов оснастки и деталей кессона крыла самолета

Этот способ базирования выбирают для сборки узлов при базировании в стапеле, для сборки агрегатов и отсеков, расчлененных на панели, со сравнительно толстой обшивкой (толщина обшивки равна или более 1,5 мм) и при высоких требованиях к точности обводов внешних контуров агрегата.

Точность сборки при этом способе базирования лежит в пределах 0,4 – 0,6 мм.

При использовании **базирования по поверхности каркаса** используют следующее уравнение погрешностей:

$$0,6\delta_{сб} = \delta_{пр} + \delta_{кон(пр-дет)} + 2\delta_{обш} + 2\delta_{клея}, \quad (2)$$

где $\delta_{обш}$ – погрешность толщины обшивки; $\delta_{клея}$ – погрешность толщины клеевого или паяного слоя.

Базирование по поверхности каркаса используют при сборке агрегатов и отсеков не расчлененной на панели конструкции, имеющей мощный силовой каркас и тонкую обшивку (рули хвостового оперения, триммеры, закрылки, предкрылки, носовые и хвостовые отсеки крыла).

Погрешность сборки при этом способе базирования достигает значений 1,5 – 2,5 мм.

При базировании по СО деталей для сборки узлов точность сборки будет зависеть от точности изготовления базовой детали $\delta_{баз}$ и точности устанавливаемых деталей, а также от погрешностей увязки $\delta_{дет(кон-СО)}$, погрешностей фиксации и клепки $\delta_{кл} + 2\delta_{фикс}$.

Точность сборки узлов невысока и лежит в пределах 2,0 – 2,4 мм.

Уравнение погрешностей, например, для сборки нервюры, состоящей из стенки и двух поясов, будет следующим:

$$0,7\delta_{сб} = \delta_{баз} + \delta_{дет1(кон-СО1)} + \delta_{дет2(кон-СО2)}. \quad (3)$$

Погрешности клепки и фиксации (зазоры между отверстиями СО и штырями-фиксаторами) по статистическим данным равны $0,3\delta_{сб}$.

Базирование по БО стапеля используют при агрегатной сборке для панелированных конструкций тяжелых и средних самолетов.

Если принять погрешности клепки, деформации деталей, фиксации $\delta_{кл} + \delta_{деф} + 2\delta_{фикс} = 0,4\delta_{сб}$, то уравнение погрешности, определяющее точность сборки, запишется:

$$0,6\delta_{сб} = \delta_{пр} + \delta_{дет1(кон-БО1)} + \delta_{дет2(кон-БО2)}. \quad (4)$$

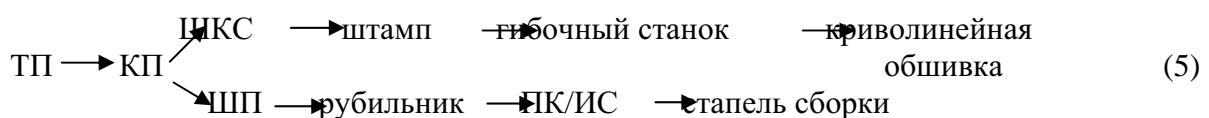
Точность сборки агрегатов при использовании этого способа базирования находится в пределах 0,6 – 0,8 мм.

При сборке узлов или агрегатов с применением связанного ПШМ увязки расчёт ожидаемой точности сборки изделия зависит от числа этапов в структурной схеме увязки, точности переноса размеров с плазов и шаблонов на элементы оснастки и деталей.

Так как от этапа к этапу происходит накопление погрешностей размеров, то необходимо выбирать оптимальное число этапов. Но при этом надо учесть, что при большом числе этапов получают большую погрешность сборки, при малом числе этапов трудно получить взаимозаменяемые агрегаты и изделие.

В зависимости от числа этапов и выбранной схемы увязки получают различные значения точности сборки.

При использовании ПШМ один из вариантов структурной схемы увязки для криволинейной обшивки выглядит так:



Возьмем для примера уравнение погрешностей при сборке с базированием по внешней поверхности обшивки:

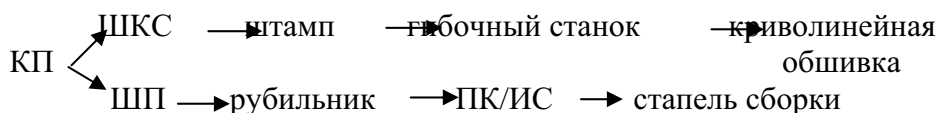
$$0,6\delta_{сб} = \delta_{пр} + \delta_{кон(пр-дет)} K_{приж}$$

Из него следует, что на точность сборки узла или агрегата влияют погрешность приспособления и погрешность увязки, которые могут быть определены исходя из структурных схем увязки (5).

Для определения погрешности приспособления $\delta_{пр}$ необходимо в расчет ввести только цепочку этапов для приспособления. Это следующие этапы цепочки в (5):



Для определения погрешности увязки $\delta_{кон(пр-дет)}$ принимают в расчет только независимые этапы обеих цепочек структурной схемы, погрешность в которых не компенсируется за счет увязки. Согласно (5), это цепочки



Погрешности $\delta_{пр}$ и $\delta_{кон(пр-дет)}$ определяют из условия, что замыкающий размер сборочной размерной цепи $\Delta_{зам}$ в каждом случае (для погрешности приспособления и для погрешности увязки) равен сумме погрешностей составляющих звеньев (этапов). Погрешность замыкающего звена для приспособления определится следующим уравнением погрешностей:

$$\Delta_{зам}^{присп} = \sum_{n=1} \sum_{m=1}^{n,m} A_i \Delta_i^{\Sigma}, \quad (6)$$

где Δ_i^{Σ} – погрешности составляющих звеньев сборочной размерной цепи; n и m – число увеличивающих и уменьшающих звеньев; A_i – передаточное отношение, характеризующее влияние составляющих звеньев на замыкающее звено: $A_i = 1$ – для увеличивающих звеньев, $A_i = -1$ – для уменьшающих звеньев, с ростом которых уменьшается замыкающее звено.

Погрешность замыкающего звена при увязке запишется соответственно как уравнение погрешности

$$\Delta_{зам}^{увязки} = \sum_{n=1} \sum_{m=1}^{n,m} A_i \Delta_i^{\Sigma}. \quad (7)$$

Решение уравнений (6) – (7) можно вести по методу «максимум-минимум», по методу «равных допусков» или теоретико-вероятностным методом. В статье представлена методика расчёта точности сборки узла или агрегата теоретико-вероятностным методом.

Основываясь на принципах теории вероятности, решение уравнений погрешностей (6) – (7) для сборочных размерных цепей сводится к определению двух основных статистических характеристик: координаты центра группирования погрешностей сборки Δ_{Σ} и среднеквадратичного отклонения или половины поля допуска замыкающего звена δ_{Σ} , т.е. погрешность замыкающего размера $\Delta_{зам}$ определится суммой двух статистических характеристик:

$$\Delta_{зам} = \Delta_{\Sigma} + \delta_{\Sigma}.$$

Эти статистические характеристики определяются по формулам

$$\Delta_{\Sigma} = \sum (A_i \Delta_i + A_i \delta_i \alpha_i); \quad \delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{\sum A_i^2 \delta_i^2 K_i^2}, \quad (8)$$

где $A_i = 1$ (при сборке все составляющие звенья являются увеличивающими); Δ_i – координата центра группирования погрешностей составляющего звена; δ_i – среднее квадратичное отклонение составляющего звена; α_i – коэффициент относительной асимметрии распределения составляющего звена; K_i – коэффициент относительного рассеивания размера составляющего звена.

Значения допускаемых производственных погрешностей (верхние и нижние отклонения размеров) и значения α_i и K_i определяют на основе экспериментально подтвержденных, статистически обработанных замеров отклонений от номинальных размеров. Величины отклонений производственных погрешностей сведены в специальные таблицы, которые имеются на самолетостроительном предприятии.

В табл. 1 представлены среднестатистические отклонения размеров при переносе размера с одного носителя на другой (поэтапно), а также метод переноса размера и значения коэффициентов α_i и K_i .

Координаты центра группирования погрешностей составляющих звеньев Δ_i определяются:

$$\Delta_i = \frac{BO_i + HO_i}{2}, \quad (9)$$

где BO_i и HO_i – соответственно верхнее и нижнее предельные отклонения размеров составляющих звеньев. При симметричном расположении верхнего и нижнего отклонений $\Delta_i = 0$.

Таблица 1

Величины отклонений размера на различных этапах переноса размеров

Обозначение этапа	Метод переноса размеров	Отклонение кон- тура, мм	Коэффициент α_i	Коэффициент K_i
ТП – КП	Расчерчивание	0; – 0,1	0,0	1,0
КП – ОК	Фотопечать	+0,1; – 0,1	0,0	1,0
ОК – ШК	Припиловка	0; – 0,15	0,5	1,4
ШК – ШВК	Припиловка	0; +0,15	0,5	1,4
ШК – ШРД	Припиловка	0,3; 0,0	0,5	1,4

Среднее квадратичное отклонение или половина поля допуска составляющего звена δ_i определится формулой

$$\delta_i = \frac{BO_i - HO_i}{2}. \quad (10)$$

Затем, используя (9) – (10), рассчитывают погрешность сборочного приспособления

$$\delta_{пр} = \Delta_{\Sigma} + \delta_{\Sigma}$$

и погрешность увязки

$$\delta_{увяз(кон-дет)} = \Delta_{\Sigma} + \delta_{\Sigma}.$$

Затем определяют точность сборки, используя (1).

Полученную расчетную точность сборки сравнивают с заданными допускаемыми значениями точности и делают вывод о правильности выбора способа базирования и схемы увязки размеров деталей и оснастки.

Полученная расчётом точность сборки не должна превышать допустимых отклонений, заданных по ТУ на изделие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Братухин, А. Г. Приоритеты авиационных технологий: в 2 т. / А. Г. Братухин. – М.: Изд-во МАИ, 2004. – Т. 1-2.
2. Гусева, Р. И. Теоретические основы сборки самолета: учеб. пособие / Р. И. Гусева, А. В. Вялов. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КНАГТУ», 2005. – 96 с.
3. Современные технологии авиастроения / колл. авт.; под ред. А. Г. Братухина, Ю. Л. Иванова. – М.: Машиностроение, 1999. – 532 с.

Суздорф В. И., Кузьмин В. М.
V. I. Susdorf, V. M. Kuzmin

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА
С ЭЛЕКТРОМАШИНЫМ ФОРМИРОВАНИЕМ КРИВОЙ
ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

**MATHEMATICAL MODEL OF A SELF-CONTAINED POWER SOURCE WITH
ELECTROMECHANICALLY FORMED CURVE OF THE OUTPUT VOLTAGE**



Кузьмин Вячеслав Матвеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электромеханика» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kem@knastu.ru.

Mr. Vyacheslav M. Kuzmin – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Electro Mechanics, Komsomolsk-on-Amur State Technical University. E-mail: kem@knastu.ru



Суздорф Виктор Иванович – кандидат технических наук, профессор кафедры «Электродвижение и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: susdorf@mail.ru.

Mr. Victor I. Susdorf – PhD in Engineering, Professor, Department of Electro Drive Engineering and Industrial Automation, Komsomolsk-on-Amur State Technical University. E-mail: keapu@knastu.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрены результаты исследований автономного источника децентрализованного электроснабжения на основе разработанной математической модели и ее практической реализации. Предложен способ электромашинного формирования кривой выходного напряжения.

Summary. This paper considers the results of a study of a self-contained supply of decentralized electric power, based on a mathematical model and its practical implementation. A method is suggested for electric mechanical formulation of the output voltage curve.

Ключевые слова: децентрализованное энергоснабжение, математическое моделирование.

Key words: decentralized electricity, mathematical modeling.

УДК 621.311.21; 621.375.26

В технической литературе появляется все больше работ, в которых программная реализация различных математических моделей осуществляется с использованием современных математических пакетов, среди которых Matlab, MathCAD, PSPICE и др. Достоинство использования этих пакетов по сравнению с традиционными алгоритмическими языками программирования – отсутствие трудоемкой реализации различных вычислительных методов. Это обстоятельство не только ускоряет работу, но и позволяет легко использовать при решении целый набор стандартных математических методов и функций, уже встроенных в математические пакеты, а также возможность их корректировки с учетом специфики модели. Среди этих методов особенно следует выделить приложение SimPowerSystems к пакету Matlab. Отличительной особенностью этой среды программирования является необычайная

легкость при построении структурных схем моделей и, что особенно важно, наглядное представление протекающих потоков информации.

Авторами в течение последних нескольких лет проводится исследование переходных и установившихся процессов в автономном источнике стабильной частоты с электромашинным формированием кривой выходного напряжения. Проводимые исследования сопряжены со значительными трудностями, преодоление которых наиболее эффективно видится с использованием возможностей разработанных математических моделей и системы Matlab.

В статье исследованы некоторые особенности работы электромашинного генератора и режимы работы вентильного преобразователя в источнике с модуляцией выходного напряжения.

Вывод системы дифференциальных уравнений (ДУ) осуществлен с учетом общепринятых допущений в теории электрических машин.

Динамика автономного источника может быть описана следующими дифференциальными уравнениями в проекции на оси прямоугольной системы координат x, y .

$$\begin{aligned} -U_{sx} &= r_{sx} i_{sx} + \frac{d\psi_{sx}}{dt} - \omega \psi_{sy}; \\ -U_{sy} &= r_{sy} i_{sy} + \frac{d\psi_{sy}}{dt} + \omega \psi_{sx}; \\ U_{rx} &= r_{rx} i_{rx} + \frac{d\psi_{rx}}{dt} - (\omega - \omega_r) \psi_{ry}; \\ U_{ry} &= r_{ry} i_{ry} + \frac{d\psi_{ry}}{dt} + (\omega - \omega_r) \psi_{rx}; \\ -U_{s1x} &= r_{s1x} i_{s1x} + \frac{d\psi_{s1x}}{dt} - \omega \psi_{s1y}; \\ U_{r1x} &= r_{r1x} i_{r1x} + \frac{d\psi_{r1x}}{dt} - (\omega - \omega_r) \psi_{r1y}; \\ U_{r2x} &= r_{r2x} i_{r2x} + \frac{d\psi_{r2x}}{dt} - (\omega - \omega_r) \psi_{r2y}; \\ U_{r1y} &= r_{r1y} i_{r1y} + \frac{d\psi_{r1y}}{dt} + (\omega - \omega_r) \psi_{r1x}; \\ U_{r2y} &= r_{r2y} i_{r2y} + \frac{d\psi_{r2y}}{dt} + (\omega - \omega_r) \psi_{r2x}; \\ -U_{s1y} &= r_{s1y} i_{s1y} + \frac{d\psi_{s1y}}{dt} + \omega \psi_{s1x}; \\ \psi_{sx} &= L_{sx} i_{sx} + M i_{rx}; \\ \psi_{sy} &= L_{sy} i_{s1} + M i_{ry}; \\ \psi_{rx} &= L_{rx} i_{rx} + M i_{sx}; \\ \psi_{ry} &= L_{ry} i_{s1y} + M i_{sy}; \\ \psi_{s1x} &= L_{s1x} i_{s1x} + M_{11} i_{r1x} + M_{12} i_{r2x}; \\ \psi_{r1x} &= L_{r1x} i_{r1x} + M_{11} i_{s1x} + M_{r12} i_{r2x}; \\ \psi_{r2x} &= L_{r2x} i_{r2x} + M_{21} i_{s1x} + M_{r12} i_{r1x}; \\ \psi_{r1y} &= L_{r1y} i_{s1y} + M_{21} i_{s1y} + M_{r12} i_{r2y}; \\ \psi_{r2y} &= L_{r2y} i_{r2y} + M_{21} i_{s1y} + M_{r21} i_{r1y}; \\ \psi_{s1y} &= L_{s1y} i_{s1y} + M_{11} i_{r1y} + M_{12} i_{r2y}, \end{aligned}$$

где $U_{sx}, U_{rx}, U_{sy}, U_{s1x}, U_{ry}, U_{r1x}, U_{r2x}, U_{r1y}, U_{r2y}, U_{s1y}$ – проекции напряжений статора и ротора на соответствующие оси координат;

Суздорф В.И., Кузьмин В.М.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА

С ЭЛЕКТРОМАШИНЫМ ФОРМИРОВАНИЕМ КРИВОЙ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

$i_{sx}, i_{rx}, i_{ry}, i_{sy}, i_{s1x}, i_{r1x}, i_{r2x}, i_{r1y}, i_{r2y}, i_{s1y}$ – проекции токов статора и ротора;

$\Psi_{sx}, \Psi_{rx}, \Psi_{sy}, \Psi_{ry}, \Psi_{s1x}, \Psi_{r1x}, \Psi_{r2x}, \Psi_{s1y}, \Psi_{r1y}, \Psi_{r2y}$ – проекции потокосцеплений статора и ротора;

$L_{sx}, L_{rx}, L_{ry}, L_{sy}, L_{s1x}, L_{r1x}, L_{r2x}, L_{r1y}, L_{r2y}, L_{s1y}$ – полные индуктивности обмоток статора и ротора;

M_{11}, M_{12}, M_{21} – взаимные индуктивности соответствующих обмоток статора и ротора;

M_{r12}, M_{r21} – взаимные индуктивности обмоток ротора.

Для анализа работы тиристорного преобразователя частоты в цепи статора использован метод приспособывания. Реализация метода на этапе составления уравнений эквивалентной схемы замещения основана на использовании метода переменных состояний в виде нормальной системы дифференциальных уравнений, записанной по законам Кирхгофа для мгновенных значений токов и напряжений по числу независимых контуров схемы.

Анализ принятых ограничений угла коммутации позволяет остановиться на рассмотрении двух интервалов работы схемы.

Первый интервал – разомкнутое состояние ключа K_6 , соответствующее проводящему состоянию двух тиристоров (межкоммутационный), второй – замкнутое состояние K_6 , соответствующее одновременной работе трех тиристоров (коммутационный). При этом для каждого интервала возможны шесть комбинаций включенных вентилях в соответствии с диаграммой их проводящего состояния, отличающихся коммутационными линейными напряжениями генератора.

$$i_{si}(R_{vsi}) + \frac{di_{si}}{dt}(L_{vsi}) - i_{sj}(R_{vsj}) - \frac{di_{sj}}{dt}(L_{vsj}) = U_{si} - U_{sj};$$

$$i_{sj}(R_{vsj}) + \frac{di_{sj}}{dt}(L_{vsj}) - i_{sk}(R_{vsk}) - \frac{di_{sk}}{dt}(L_{vsk}) = 0;$$

$$i_d R_d + L_d \frac{di_d}{dt} - U_{cf} = 0;$$

$$i_{cf} = C_f \frac{dU_{cf}}{dt};$$

$$i_{Rf} = \frac{U_{cf}}{R_f},$$

где $U_{si}, i_{si}, R_{si}, L_{si}$ – фазные напряжения, токи, активные сопротивления и индуктивности генератора;

R_{vsi}, L_{vsi} – активные сопротивления и индуктивности вентилях;

C_f, R_f – емкость, и активное сопротивление фильтра;

R_d, L_d – активное сопротивление и индуктивность нагрузки

$i = A, B, C; j = A, B, C; k = A, B, C; i \neq j \neq k$. Для межкоммутационных интервалов

$$j = k; i = -j.$$

Переход от системы, описывающей процессы в схеме в межкоммутационный интервал к системе в интервал коммутации, происходит в момент времени, определяемый углом включения тиристоров; обратный переход – по спаду до нуля, контролируемого в течение интервала коммутации тока через выключаемый тиристор с сохранением значений всех независимых переменных на границе интервалов.

Условия запираания ($i_{vs}(t) = 0$) \wedge ($\frac{di_{vs}(t)}{dt} < 0$) и отпираания вентилей

$$(U_{vs}(t) > 0) \wedge (F_{vs} = 1),$$

где i_{vs} – ток открытого вентиля;

U_{vs} – напряжение на закрытом вентиле;

F_{vs} – управляющая функция вентиля.

Приведенная математическая модель автономного источника включает в себя дифференциальные уравнения, составленные на основе теории электрических машин и автоматизированного электропривода и описывающие как статические, так и динамические режимы автономного источника, что позволяет использовать ее при всестороннем исследовании всех режимов управления такой установкой на ЭВМ.

При моделировании ДУ в Matlab\SimPowerSystems используется способ визуального программирования, в соответствии с которым на экране из библиотек стандартных блоков набирается соответствующая модель, устанавливаются необходимые параметры блоков и затем делаются расчеты.

Следует отметить существующую оригинальную возможность изменения, дополнения библиотек стандартных блоков необходимыми ДУ в соответствии с поставленной задачей методом визуального программирования. При этом, в отличие от классических способов моделирования, пользователю не нужно досконально изучать язык программирования и численные методы математики. Для решения созданной модели система Matlab\ SimPowerSystems предоставляет возможность воспользоваться одним из стандартных методов численного интегрирования ДУ: Эйлера, Рунге-Кутта третьего и пятого порядка, Адамса, Гира, Адамса-Гира.

На рис. 1 приведена полная модель автономного источника модуляционного типа. Модель представлена в виде совокупности описанных выше взаимосвязанных подсистем.

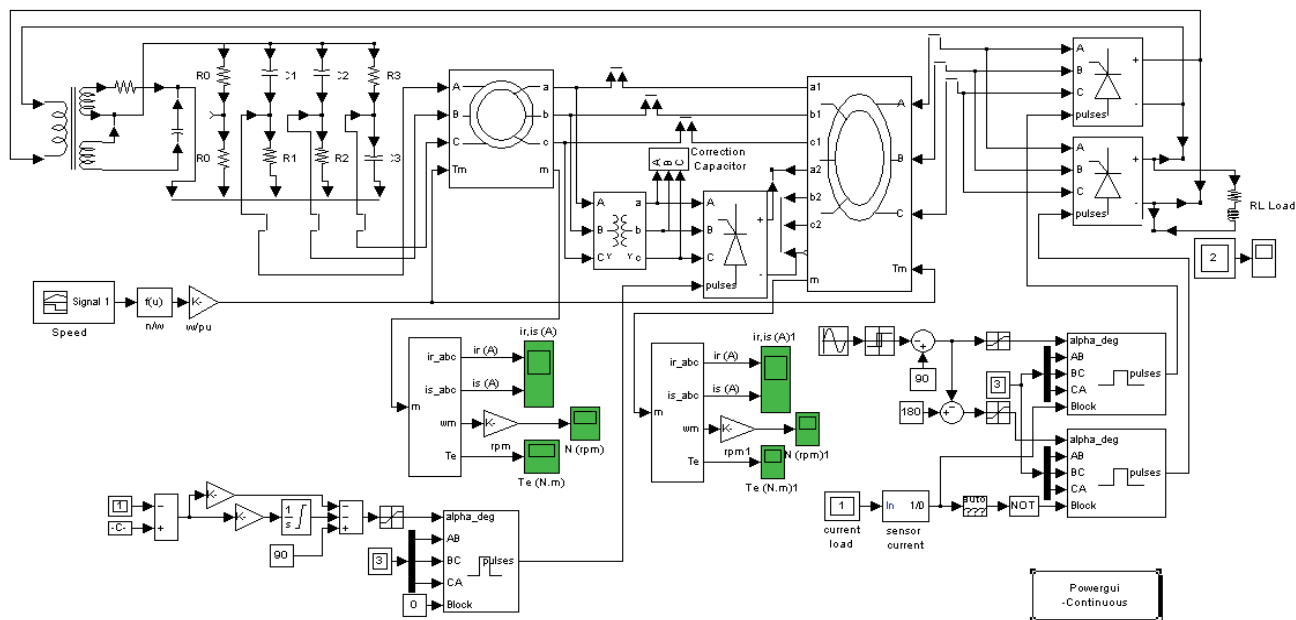


Рис. 1. Модель автономного источника в Matlab\ SimPowerSystems

Ниже представлены некоторые результаты, полученные на компьютерной модели автономного источника в Matlab\ SimPowerSystems.

На рис. 2 представлены переходные процессы тока и напряжения при трехкратном изменении частоты вращения ротора. При этом изменение скорости привело к незначительным колебаниям выходного напряжения. Следовательно, реальное изменение частоты вращения ротора даже с типовыми регуляторами генератора не влияет на частоту и амплитуду выходного напряжения источника, а ее дальнейшее увеличение только улучшает качество выходных параметров.

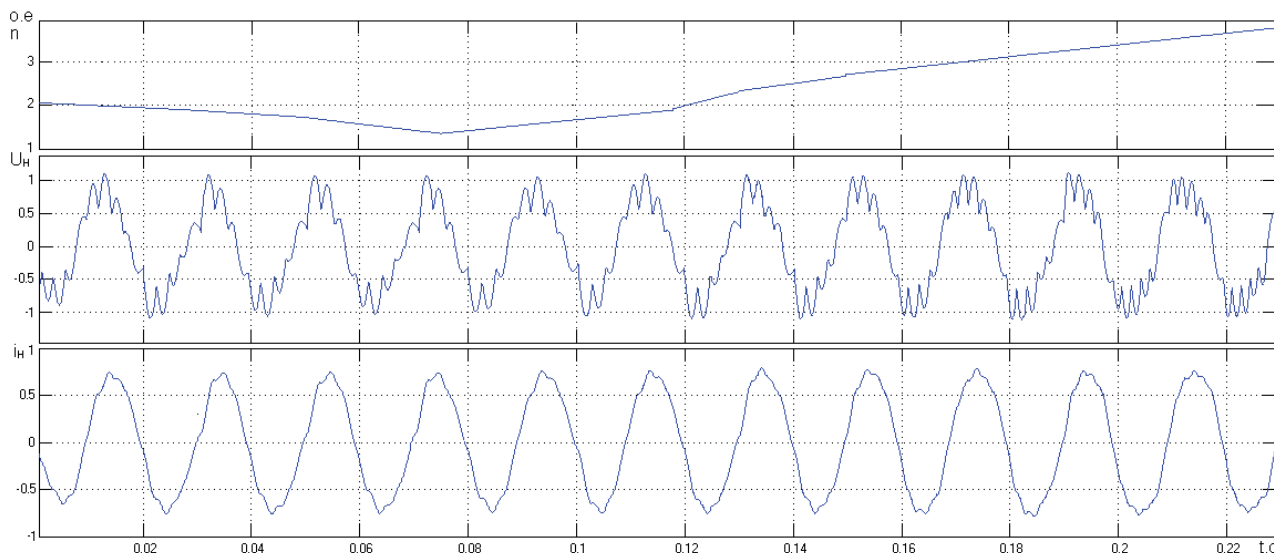


Рис. 2. Переходные процессы тока и напряжения при изменении частоты вращения ротора

Важным достоинством источников с электромашинным формированием кривой выходного напряжения является высокое качество напряжения на нагрузке при отсутствии фильтра ($K_T \leq 10\%$), что иллюстрируется осциллограммой (см. рис. 3).

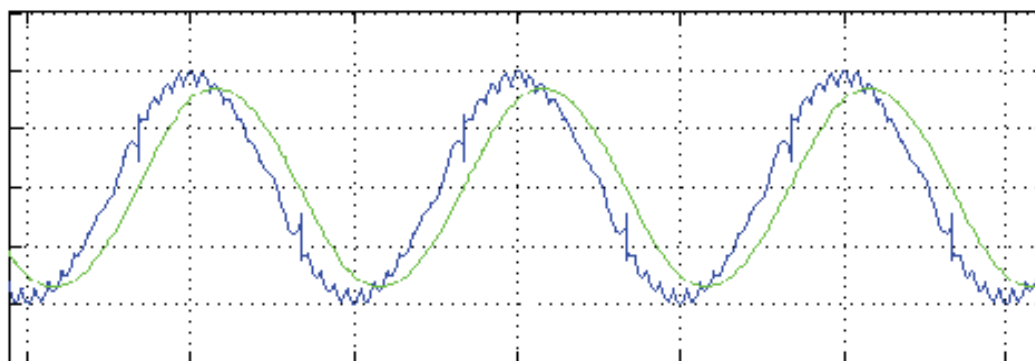


Рис. 3. Осциллограммы напряжения и тока нагрузки при отсутствии фильтра (расчетные)

Для подтверждения правильности полученных теоретических выводов при исследовании особенностей работы электромашинного генератора, режимов работы вентильного преобразователя в источнике с модуляцией выходного напряжения с использованием приведенной математической модели на рис. 4 представлены осциллограммы экспериментальных исследований, проведенных на физической модели. Физическая модель состоит из основных частей: электромашинного генератора, преобразователя частоты с непосредственной связью, выполненного по мостовой схеме, системы управления вентильным преобразователем.

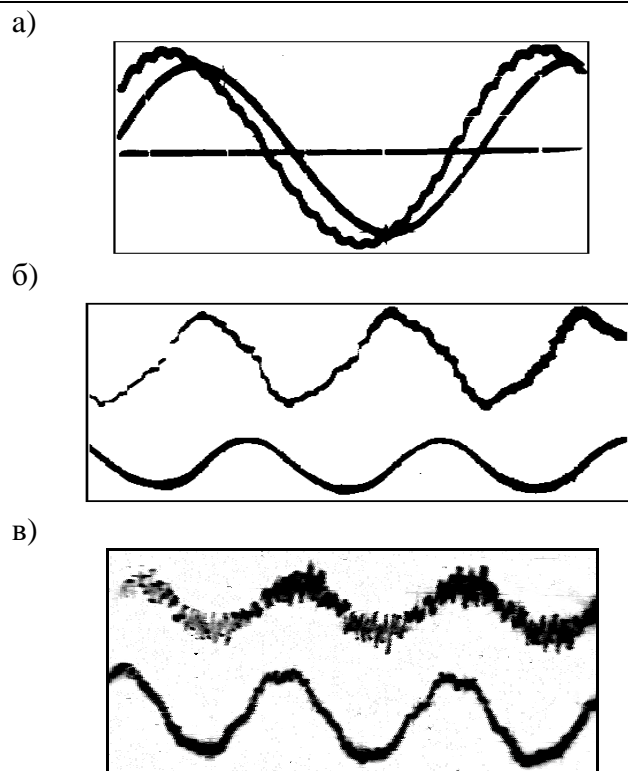


Рис. 4. Осциллограммы напряжения и тока нагрузки при отсутствии фильтра (а), осциллограммы напряжений и токов машин, составляющих генератор (б, в)

Приведенные экспериментальные осциллограммы хорошо согласуются с расчетами при моделировании, что подтверждает достоверность теоретических положений и предлагаемой математической модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радин, В. И. Управляемые электрические генераторы при переменной частоте вращения / В. И. Радин. – М. : Энергия, 1978.
2. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин / И. П. Копылов. – М. : Высш. шк., 1987.
3. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р. Т. Шрейнер. – Екатеринбург : УРО РАН, 2000.

Трещев И. А.
I. A. Treshchev

**МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ АРХИТЕКТУР
С СИММЕТРИЧНО АДРЕСУЕМОЙ ПАМЯТЬЮ**

**METHODS FOR BUILDING SYSTEMS OF AUTOMATED PARALLELIZATION
PROGRAMMING FOR ARCHITECTURES WITH
SYMMETRICALLY-ADDRESSABLE MEMORY**



Трещев Иван Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Математическое обеспечение и применение ЭВМ» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина, д.27; 8-962-287-19-91. E-mail: kalkt@yandex.ru.

Ivan A. Treshchev - Ph.D in Engineering, Assistant Professor, Department of Computer Software and Computing, Komsomolsk-on-Amur State Technical University, 27, Lenina prospect, 681013 Komsomolsk-on-Amur, Khabarovsk region, Russian Federation, tel.: +7 (962) 287-19-91. E-mail: kalkt@yandex.ru.

Аннотация. Данная работа посвящена рассмотрению подходов для автоматизированного распараллеливания приложений, ориентированных на использование в системах с симметрично адресуемой памятью. Рассматриваются концепции параллелизма по данным и функционального параллелизма, модели с бесконечными и ограниченными ресурсами. Рассмотрена методология применения временных волновых систем для распараллеливания алгоритмов, которым присущ функциональный параллелизм.

Summary. The paper considers several approaches to automated parallelization of applications intended for use in systems with symmetrically addressed memory. Parallelization concepts are considered: data parallelization, functional parallelization; along with infinite/limited resource models. A methodology of application of time-wave systems to parallelize algorithms with inherent functional parallelism is considered.

Ключевые слова: автоматическое распараллеливание, функциональный параллелизм, параллелизм по данным.

Key words: automatic parallelization, functional parallelization, data parallelization.

УДК 681.3.06

Введение

В настоящее время широкую популярность приобрели микропроцессоры с симметрично адресуемой памятью, к ним относятся многопроцессорные вычислительные станции (два, четыре и более процессора, расположенных на одной материнской плате), многоядерные архитектуры (современные микропроцессоры Intel Core 2 Duo, Core 2 Quadro, Intel Xeon, Amd Opteron, Amd Athlon), системы, построенные по технологии NUMA. Для полноценного использования ресурсов современных вычислительных станций с SMP-архитектурой (Symmetric Multi Processing) актуальной является проблема создания приложений, поддерживающих параллелизм, присущий решаемой задаче и эффективно использующий ресурсы микропроцессора. Хотя второй закон Амдала [1, 67] утверждает:

$$\lim_{p \rightarrow \infty} \frac{T_1}{T_p} = \frac{1}{f},$$



где f – доля операций выполняемых строго последовательно; T_1 – время исполнения на одном вычислительном узле; T_p – время исполнения на p вычислительных узлах, для каждой конкретной задачи достаточно сложно определить, какие операции могут выполняться последовательно, а какие можно исполнять одновременно. Созданию систем для автоматического выявления параллелизма посвящено достаточно много работ как отечественных, так и зарубежных авторов.

Параллелизм по данным

Пусть область входных данных алгоритма представляет собой объединение попарно непересекающихся подобластей, тогда на каждом из вычислительных узлов рабочей станции можно обрабатывать соответствующую подобласть независимо от остальных. Таким образом, происходит расслоение области входных данных на части, вычисления для которых можно производить независимо и одновременно.

Например, пусть нам необходимо построить на экране некоторое изображение, у нас имеется n процессоров (ядер), тогда мы можем разбить все изображение на n частей и на каждом из вычислительных узлов обрабатывать соответствующую часть одновременно, занося результаты обработки в некоторый буфер. По окончании обработки буфер будет отображен на экран.

Для систем с симметрично адресуемой памятью очень часто возникают задачи, которые связаны с использованием параллелизма по данным: сжатие информации, кодирование и декодирование видео- и аудио-, задачи машинной графики, шифрование, обработка текста, обработка данных в СУБД и т.д.

Применение стандарта OpenMP для создания приложений, поддерживающих параллелизм по данным, позволяет добиться ускорения выполнения приложений, но, в связи со сложностью освоения, требует дополнительных затрат времени на изучение данного стандарта, и не всегда его использование позволяет максимально эффективно задействовать все имеющиеся ресурсы.

Функциональный параллелизм

Рассмотрим вычисление значений функции, которая, в свою очередь, является суперпозицией некоторого числа элементарных функций, т.е. будем рассматривать функции вида:

$$g(x) = f_1(f_2(\dots(f_n(x))\dots)),$$

где каждая из $f_i, i = \overline{1..n}$ – элементарная функция.

Если множество входных данных довольно велико, то для вычисления каждой элементарной операции можно использовать свой процессорный элемент или отдельный поток.

Например, пусть нам необходимо вычислить значение функции $y(x) = \sin(\cos(\operatorname{tg}(\operatorname{arctg}(x))))$ для потока входных данных из 1 000 000 элементов, тогда необходимо задействовать четыре вычислительных узла (ядра), каждый из которых будет принимать на вход свой аргумент и на выходе – формировать значение, вычисленное после выполнения соответствующей элементарной функции. Следует отметить, что на синхронизацию действий, связанных с вычислением значений данной функции при использовании описанного алгоритма на системах с SMP-архитектурой, будет затрачено существенное для данной задачи время.

Для того чтобы максимально эффективно использовать ресурсы вычислительной станции при реализации функционального параллелизма, необходимо распределить по вычислительным узлам выполняемые элементарные функции так, чтобы не возникали ситуации, когда соответствующий узел не функционирует, ожидая на входе аргументов.

Отметим, что языкам функционального программирования Erlang, Prolog и другим, в связи с представлением программ в виде суперпозиции функций и использованием механиз-

Трещев И.А.

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ АРХИТЕКТУР С СИММЕТРИЧНО-АДРЕСУЕМОЙ ПАМЯТЬЮ

ма backtrack, также присущ функциональный параллелизм, для которых методология построения многопоточных приложений описана в [5, 228; 6, 152;7].

Использование математических моделей последовательных процессов исполняющихся параллельно при автоматизированном построении приложений для SMP-архитектур

За последние 30 лет зарубежными исследователями Я. Фостером, Ч. Хоаром, Р. Милнером, К. Петри, Г. Винскем, М. Нильсеном, Э. Гобо, М. Беднарчиком были предложены и изучены многие формальные модели, позволяющие описывать функционирование последовательных процессов, исполняющихся параллельно.

Также стоит отметить исследования в области построения формальных моделей распределенных вычислений отечественных ученых: В. Воеводина и Вл. Воеводина О. Омарова, В. Котова, И. Вирбицкайте, А. Барского, В. Бочарова, В. Корнеева, Н. Миренкова и др.

Наиболее общими математическими моделями параллельных вычислений являются: граф алгоритма, информационный граф алгоритма, граф зависимости и граф процесса [8, 21].

Многие классические модели: сети Петри, размеченные системы переходов, асинхронные системы переходов, автоматы высокой размерности [9, 100], графы зависимости, графы процесса, графы алгоритма и информационные графы алгоритма – позволяют исследовать проблемы, связанные с достижимостью некоторого состояния вычислительного процесса, его нетупиковостью, решать классические проблемы синхронизации [3, 98] (сериализации, взаимной блокировки, бесконфликтности), выявлять взаимосвязь моделей между собой, анализировать состояния таких систем различными методами.

Лишь немногие модели позволяют анализировать время функционирования таких систем, как временные сети Петри, временные структуры событий, временные системы переходов. Из них наиболее часто используемыми на практике являются временные раскрашенные сети Петри. Стоит отметить сложность реализации систем автоматизированного распараллеливания на основе этой модели в связи со сложностью теоретического анализа и ввиду асинхронной природы самих сетей Петри.

Одной из моделей, позволяющих анализировать время функционирования, является модель временных волновых систем, описанная в [4, 20].

Пусть задано некоторое арифметическое выражение. Узлы частичного орграфа волновой системы соответствуют примитивным операциям, а направленные ребра соединяют узлы, если результат выполнения операции, соответствующей началу ребра, является аргументом операции, соответствующей концу этого ребра. Из каждой вершины будет выходить столько ребер, для скольких последующих операций будет использоваться результат выполнения данной операции, и входить столько ребер, сколько аргументов она имеет. Каждой переменной арифметического выражения будет соответствовать вершина без входящих в нее стрелок. Результаты вычислений формируются в вершинах без выходящих из них стрелок. Причем введение операции параллельной композиции и последовательной композиции позволит оценивать время, необходимое для вычислений заранее.

Модель временной волновой системы эффективно применяется для распараллеливания алгоритмов, содержащих функциональный параллелизм.

С каждой вершиной временной волновой системы ассоциируем поток, а с каждым ребром – синхронизированную бесконечную очередь сообщений, что позволяет преобразовать вычисление арифметического выражения, заданного временной волновой системой, непосредственно в программу на языке высокого уровня, с использованием библиотек потоков для выбранной операционной системы.



Заключение

В современных операционных системах реализованы механизмы эффективного планирования выполнения задач и потоков, квитирования процессорного времени [2, 489], причем при наличии незанятого ядра очередной порождаемый поток будет исполняться на нем.

В настоящее время разработано программное обеспечение, которое позволит автоматизировать создание кода приложений для вычислительных станций с SMP-архитектурой, функционирующих под управлением современных операционных систем Windows и Unix, поддерживающих многопоточность и эффективно использующих их ресурсы. Данное программное обеспечение позволит эффективно использовать ресурсы вычислительной системы при разработке приложений, содержащих функциональный параллелизм и параллелизм по данным.

Также представляется возможным использование описанных в данной статье методик для построения распределенных приложений для систем с MPP-архитектурой (Massive Parallel Processing).

ЛИТЕРАТУРА

1. Воеводин, В. В. Параллельные вычисления / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. – СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 608 с.
2. Таненбаум, Э. Операционные системы: разработка и реализация / Э. Таненбаум, А. Вудхалл. // Computer Science: перевод с англ. – СПб.: Питер, 2006. – 576 с.
3. Топорков, В. В. Модели распределенных вычислений / В. В. Топорков. – М.: Физматлит, 2004. – 320с.
4. Трещев, И. А. Математическая модель гибридной временной волновой системы / И. А. Трещев // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – № 4 (30). – С. 19–21.
5. Трещев, И. А. Параллельные алгоритмы визуализации фрактальных множеств на основе асинхронных волновых систем / И. А. Трещев. // Информационно вычислительные технологии и их приложения: сб. ст. IV российско-украинского науч.-технического и методического симп. – Пенза: ПГСХА, 2006 – С. 227–230.
6. Трещев, И. А. Построение многопоточных приложений для распараллеливания алгоритмов перебора / И. А. Трещев. // Информатика и системы управления. – 2008. – № 1 (15). – С. 151–159.
7. Трещев, И. А. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006613475. Перебор последовательностей как раскраска вершин графа при обходе в ширину с использованием многопоточковых приложений на компьютерах с SMP архитектурой. – 6.10.2006.
8. Хусаинов, А. А. Архитектура вычислительных систем: учеб. пособие / А. А. Хусаинов, Н. Н. Михайлова. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КНАГТУ», 2004. – 123 с.
9. Bednarczyk, M. A. Categories of asynchronous systems, PhD thesis in Computer Science / M. A. Bednarczyk // University of Sussex. – 1988. – 134 с.

Комаровский Ю. А.
Yu. A. Komarovskiy

ТОЧНОСТЬ ДОПЛЕРОВСКОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ БОЛЬШИХ УГЛАХ КУЛЬМИНАЦИИ СПУТНИКОВ

ACCURACY OF A DOPPLER NAVIGATION SYSTEM FOR LARGE ANGLES OF SA- TELLITE CULMINATION



Комаровский Юрий Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры теории и устройства судна Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского (Россия, Владивосток). E-mail: komarovskiy@msun.ru.

Mr. Yuriy A. Komarovskiy – PhD in Engineering, Senior Researcher at the Department of Ship Theory and Naval Architecture of the Admiral G.I.Nevelsky State Maritime University (city of Vladivostok). E-mail: komarovskiy@msun.ru.

Аннотация. Погрешности координат, получаемых с помощью спутниковых навигационных систем доплеровского типа, сильно зависят от максимальной высоты прохождения спутника над горизонтом. На примере системы Транзит показано, что при углах кульминации спутника от 75° до 89° получаемая широта рассеивается на 2 км, а долгота – на 20 км. Когда спутник проходит через зенит, определение координат становится невозможным.

Summary. Errors in coordinates obtained using Doppler-type satellite navigation systems are largely dependent on the satellite's maximum altitude above the horizon. Using an example of the system called Transit we have shown that, for coordinates obtained with angles of satellite culmination ranging between 75 and 89 degrees, deviation of the latitude and longitude is 2 and 20 kilometers, respectively. When a satellite reaches the zenith, obtaining of coordinates becomes impossible.

Ключевые слова: КОСПАС-САРСАТ, Транзит, точность, систематическая погрешность, случайная погрешность.

Key words: COSPAS-SARSAT, Transit, accuracy, systematic error, random error.

УДК 621.396.932.1:629.783

Глобальная международная спутниковая система КОСПАС-САРСАТ (COSPAS-SARSAT) предназначена для оповещения о бедствии и определения координат активированных аварийных радиобуёв (АРБ). Космический сегмент системы включает в себя шесть низкоорбитальных спутников на высотах около 1000 км, обращающихся вокруг Земли с периодом 100 мин, и пять геостационарных спутников, выполняющих функции ретрансляторов. Подвижные спутники имеют полярные орбиты, плоскости которых наклонены под углом 83° к плоскости экватора Земли. Низкоорбитальные спутники предназначены для приёма сигналов бедствия и определения координат АРБ по доплеровским сдвигам частоты его несущих колебаний в полосе от 406 до 406,1 МГц. Эта информация передаётся на геостационарные спутники, которые ретранслируют её на наземные пункты инфраструктуры системы КОСПАС-САРСАТ. С начала функционирования системы (с 1 сентября 1982 г.) по декабрь 2008 г. при использовании системы КОСПАС-САРСАТ было спасено 26779 чел.

Успех операций по поиску и спасению людей, попавших в аварию, во многом зависит от точности определения места буя (ОМБ). Дело в том, что подвижные спутники не всегда



находятся в зоне радиовидимости АРБ из-за своего движения вдоль меридиана. Существует периодичность пролётов спутников для того или иного места на поверхности Земли. В низких широтах период между прохождением спутников может достигать полутора часов. Для терпящих бедствия в высоких широтах, в которых природно-климатические условия более суровы, период между смежными прохождением спутников системы КОСПАС-САРСАТ становится менее часа. Как показано в работах [1; 2], на точность определения координат доплеровскими радионавигационными системами оказывают влияние целый ряд факторов. Среди них доминирующим выступает угол, при котором спутник кульминирует относительно места, в котором находится АРБ. В данной статье исследуется то, как угол кульминации, лежащий в пределах от 75° до 90° , влияет на точность определения широты и долготы АРБ.

В ОМБ при больших углах кульминации спутника системы КОСПАС-САРСАТ есть свои особенности. Они вытекают из характера видимого движения ИСЗ относительно АРБ. При больших углах кульминации трасса подспутниковой точки проходит в меридиональном направлении в непосредственной близости от места, в котором находится АРБ. В такой ситуации время нахождения буя в зоне радиовидимости спутника будет максимально. Это делает весьма надёжным приём спутником сигнала бедствия, поступающего от АРБ. Однако в реальности для ОМБ такая ситуация приводит к ухудшению точности.

На первый взгляд, увеличение времени нахождения АРБ в зоне радиовидимости спутника должно вызывать рост интервалов интегрирования доплеровских сдвигов частоты. Каждому такому интервалу соответствует одна навигационная изолиния. Пересечение изолиний на поверхности Земли приводит к ОМБ. Следовательно, при больших углах кульминации точность ОМБ должна быть максимальной.

Чтобы разрешить это противоречие, воспользуемся статистическими данными, накопленными в ходе экспериментальных наблюдений за работой приёмника FSN-70 доплеровской спутниковой радионавигационной системы Транзит (Transit). По своим техническим характеристикам системы Транзит и КОСПАС-САРСАТ близки. Принципиальное отличие между ними заключается в том, что в системе КОСПАС-САРСАТ координаты буя определяются спутником, а в системе Транзит – судовым приёмником. Наблюдения проводились с октября 1987 г. по март 1989 г. в лаборатории радионавигационных приборов Всесоюзного института повышения квалификации руководящих работников и специалистов рыбного хозяйства СССР во Владивостоке. Приёмник FSN-70, изготовленный японской компанией Fujihiro, определял обсервованные координаты, соответствующее им время на Гринвиче, высоту кульминации спутника, количество интервалов интегрирования доплеровских сдвигов частоты, а также признак, по которому штурман мог судить о точности данной обсервации. Как показали результаты предварительной обработки полученных данных, при больших углах кульминации количество принятых для обсервации интервалов интегрирования становится незначительным [3]. При угле кульминации 12° число принятых интервалов интегрирования (число изолиний) достигает 27, а при угле кульминации в 89° их число не превышает 7-10. Более того, практически все обсервации при углах кульминации спутников от 75° до 90° имели признак, по которому полученные координаты нельзя использовать в судовождении вследствие их низкой точности. Поэтому в работе [1] этот диапазон углов кульминации не исследовался. Для анализа работы системы КОСПАС-САРСАТ любой диапазон углов кульминации важен в одинаковой степени, так как здесь затрагивается проблема безопасности в чрезвычайных ситуациях.

В рамках данного исследования первоначальная обработка 12216 накопленных наблюдений свелась к получению гистограммы распределения числа наблюдений в зависимости от угла кульминации спутника. Эта гистограмма представлена на рис. 1.

На рис. 1 можно видеть, как, начиная с угла кульминации 20° , число наблюдений монотонно убывает, достигая минимальных значений в области больших высот спутника над горизонтом. Убывание числа наблюдений имеет своё объяснение. Причина кроется в характере изменения азимута спутника. При большом угле кульминации азимут спутника со стороны буя изменяется медленно до момента и после момента кульминации. Это приводит к тому, что смежные изолинии пересекаются под малыми углами между собой. Интервалы интегрирования, соответствующие этим изолиниям, отбрасываются и в расчётах координат буя не участвуют. Таким образом, наблюдения, сопровождающиеся прохождением спутника на больших высотах над горизонтом, выполняются при малом числе изолиний. Такие изолинии пересекают параллель АРБ под меньшими углами, нежели меридиан. Следовательно, такие наблюдения будут характеризоваться низкой точностью, а их фигура погрешности должна быть вытянута вдоль параллели. Когда спутник проходит через зенит (угол кульминации равен 90°), то до момента кульминации и после него азимут не изменяется вовсе. Только в момент кульминации азимут в течение нескольких секунд изменится на 180° . Поэтому при прохождении спутника через зенит наблюдения не может быть, и это подтверждается числом наблюдений, равным 0, на рис. 1.



Рис. 1. Распределение относительных частот числа наблюдений

Всего при больших углах кульминации (от 75° до 90°) было зарегистрировано 957 наблюдений, что составило 7,834 % от общего их числа. Более точное представление о распределении количества наблюдений можно получить при анализе табл. 1.

Таблица 1

Число наблюдений при больших углах кульминации спутника

Угол кульминации	75	76	77	78	79	80	81	82
Число наблюдений	56	82	64	77	77	77	73	72
Процент наблюдений	0,458	0,671	0,524	0,631	0,631	0,631	0,597	0,589
Угол кульминации	83	84	85	86	87	88	89	90
Число наблюдений	59	46	71	74	54	36	39	0
Процент наблюдений	0,483	0,377	0,581	0,606	0,442	0,295	0,319	0

Чтобы оценить величины систематических погрешностей обсервованных широт и долгот, были рассчитаны для каждого угла кульминации j средние значения широт и долгот $\varphi_{срj}$ и $\lambda_{срj}$:

$$\varphi_{срj} = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} \varphi_{ij}, \quad \lambda_{срj} = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} \lambda_{ij}, \quad (1)$$

где n_j – число обсерваций при угле кульминации j (см. табл. 1); φ_{ij} и λ_{ij} – широты и долготы в угловой мере соответственно, зарегистрированные при угле кульминации j .

На рис. 2 можно видеть отклонения полученных средних значений широт (левая панель) и средних долгот от действительных координат антенны приёмника FSN-70 в системе WGS-84, определённых высокоточным геодезическим способом. Величины действительных координат показаны пунктирными линиями.

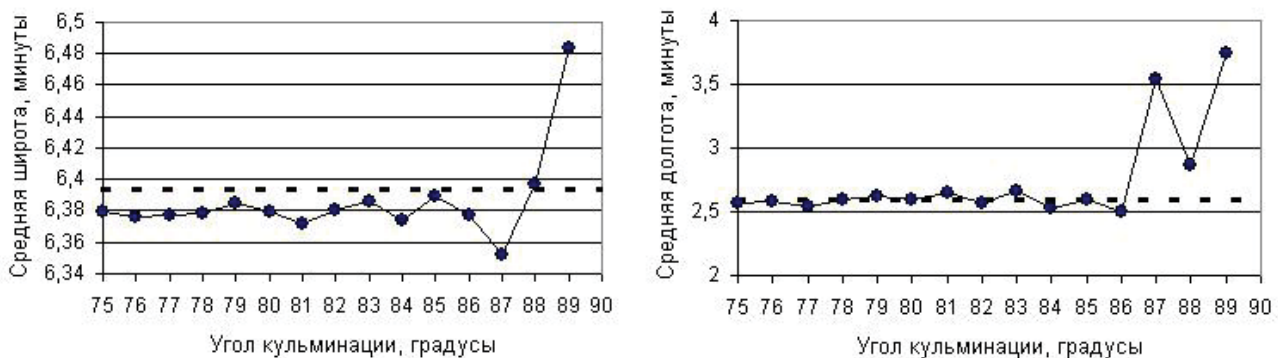


Рис. 2. Систематические погрешности широт (слева) и долгот

На левой панели рис. 2 прослеживается явное присутствие систематической погрешности обсервованной широты. Видно, что до угла кульминации 86° средние значения обсервованных широт устойчиво в среднем на $27,7$ м располагаются к югу от действительной широты. После угла кульминации 86° средние обсервованные широты значительно отклоняются к северу. Приблизительно также изменяются средние долготы. Только их величины в среднем отклоняются на $16,3$ м к западу. При углах кульминации 87° и более средняя долгота имеет тенденцию существенного ухода к востоку.

Практическое значение для организации поиска и спасения имеют величины случайных погрешностей определения обсервованных координат при больших углах кульминации спутника. Статистической оценкой случайных погрешностей принято считать среднее квадратическое отклонение (СКО). Величины в метрах СКО обсервованных широт σ_{φ_j} и долгот σ_{λ_j} для каждого значения угла кульминации j рассчитывались по следующим формулам:

$$\sigma_{\varphi_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (\varphi_{ij} - \varphi_{срj})^2}{n_j}} \times l_m, \quad \sigma_{\lambda_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (\lambda_{ij} - \lambda_{срj})^2}{n_j}} \times l_p, \quad (2)$$

где l_m и l_p – длины в метрах одной минуты меридиана и одной минуты параллели референц-эллипсоида WGS-84 соответственно; остальные переменные соответствуют переменным формулы (1).

Величины l_m и l_p зависят от широты места, в котором выполнялись экспериментальные наблюдения. Вычисления этих величин по классическим формулам геодезии [5] представляют определённую сложность из-за необходимости выдерживать высокую разрядность.

Поэтому автором данной статьи были получены простые формулы для расчётов l_m и l_p , обеспечивающие точность вычислений не хуже 0,1 мм [4]:

$$l_m = K_{11} - K_{22} \cos 2\varphi + K_{33} \cos 4\varphi, \quad l_p = [C_1 - C_2 \cos 2\varphi + C_3 \cos 4\varphi] \cos \varphi. \quad (3)$$

Коэффициенты формул (3) для референц-эллипсоида WGS-84 помещены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты для вычисления l_m и l_p по формулам (3)

K_{11}	K_{22}	K_{33}	C_1	C_2	C_3
1852,21549	9,33025	0,01936	1858,4416	3,12065	0,00389

Широта φ формул (3) в расчётах СКО obserвованных широт σ_{φ_j} и долгот σ_{λ_j} принималась равной действительной широте антенны приёмника FSN-70 в месте выполнения экспериментальных наблюдений.

Результаты вычислений средних квадратических отклонений по формулам (2) представлены в виде графиков рис. 3.

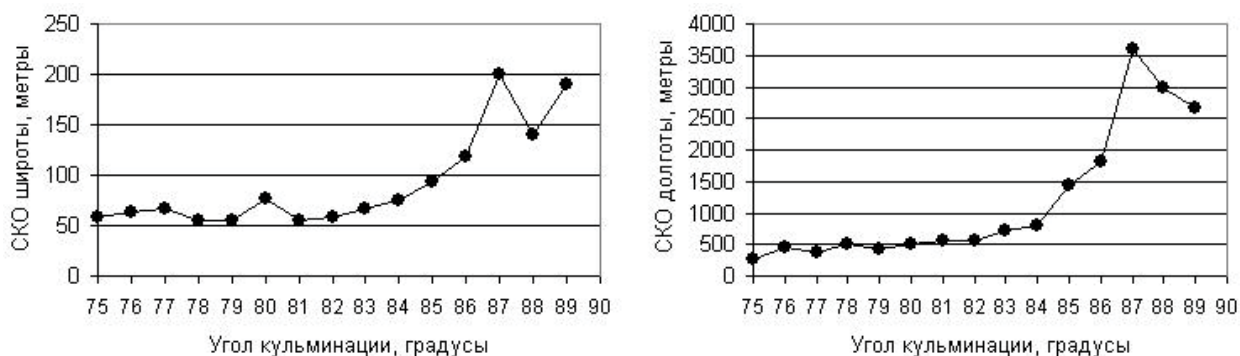


Рис. 3. Случайные погрешности широт (слева) и долгот

Сравнение графиков рис. 3 позволяет сделать вывод об одинаковом характере изменения случайных погрешностей obserвованных широт и долгот в зависимости от угла кульминации спутника. На рис. 3 виден нелинейный рост меры рассеивания координат с увеличением угла кульминации. Если принять неизменность СКО широты и долготы до угла кульминации 81° , то видно, что рассеивание широт в 10 раз меньше рассеивания долгот. При достижении максимальных углов кульминации мера случайных погрешностей становится равной 3,5 км, в то время как у широты она не превышает 200 м. Таким образом, для углов кульминации, близких к 90° , случайная погрешность определения долготы АРБ становится в 17,5 раз больше случайной погрешности широты. Эти факты подтверждают высказанное выше предположение о вытянутости фигуры погрешности ОМБ вдоль параллели.

Чтобы иметь наглядное представление о характере рассеивания obserвованных координат АРБ при больших углах кульминации спутника, рассчитывались отклонения в метрах полученных координат от места установки антенны. Вычисления проводились по всем 957 obserвациям по следующим формулам:

$$x_k = (\lambda_k - \lambda_0) \times l_p, \quad y_k = (\varphi_k - \varphi_0) \times l_m,$$

где $k = 1, 2, \dots, 957$; x_k – отклонение в метрах по параллели от антенны приёмника FSN-70; λ_k – долгота k -й obserвации, λ_0 – действительная долгота антенны; y_k – отклонение в метрах

по меридиану от антенны приёмника FSN-70; φ_k – широта k -й обсервации; φ_0 – действительная широта антенны.

О характере отклонения обсерваций от действительного места антенны приёмника FSN-70 можно судить по рис. 4.

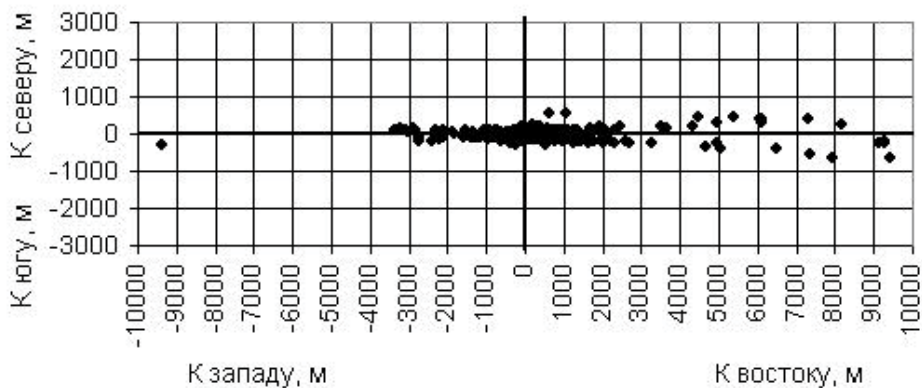


Рис. 4. Распределение координат при больших углах кульминации спутника

Анализируя рис. 4, можно убедиться в отрицательном влиянии больших углов кульминации на точность ОМБ. Когда угол кульминации находится в пределах от 75° до 89° , обсервованная долгота АРБ может находиться в пределах от 10 км к востоку и в 10 км к западу от действительного его места. Значительно ухудшается точность определения широты АРБ по сравнению с ситуациями, когда кульминация спутника происходит при углах, меньших 75° . Как это следует из рис. 4, обсервованная широта АРБ располагается в полосе шириной приблизительно 2 км. Таким образом, если спутник системы КОСПАС-САРСАТ принял сигнал бедствия и определил координаты АРБ, кульминируя относительно его на высотах от 75° до 89° , то поиск потерпевших бедствие следует организовывать на площади не менее 40 км^2 . Поисковые галсы в таком случае необходимо ориентировать с востока на запад и с запада на восток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комаровский, Ю. А. Зависимость точности обсервованных координат ПИ FSN-70 от высоты кульминации спутников СРНС Транзит / Ю. А. Комаровский // Вестник Морского государственного университета. Вып. 22. Сер. История морской науки, техники и образования. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2008. – С. 105 – 116.
2. Комаровский, Ю. А. Сезонные изменения точности определения координат доплеровскими спутниковыми навигационными системами / Ю. А. Комаровский // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Вып. № II-1(2). Сер. Науки о природе и технике. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2010. – С. 51 – 57.
3. Комаровский, Ю. А. Влияние высоты кульминации спутника на продолжительность сеанса связи ПИ FSN-70 / Ю. А. Комаровский // Вестник Морского государственного университета. Вып. 22. Сер. История морской науки, техники и образования. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2008. – С. 117 – 125.
4. Комаровский, Ю. А. Точные вычисления пройденных расстояний на земных эллипсоидах / Ю. А. Комаровский // Современные проблемы развития и методики преподавания естественных и точных наук: материалы Всероссийской науч.-практ. конф. 16-18 декабря 2009 г. – Уссурийск: Изд-во УГПИ, 2009. – С. 154 – 161.
5. Department of Defense World Geodetic System 1984. DMA Technical Report TR 8350.2. U.S. Geological Survey, October, 1993. – 152 p.

Файзиматов Ш. Н.
Sh.N.Faizimatov

ПРИМЕНЕНИЕ ПНЕВМОВИХРЕВОГО ЭФФЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПЕРЕКАЧКИ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

USING THE PNEUMOVORTICAL EFFECT METHOD FOR AUTOMATED PUMPING OF AGGRESSIVE MEDIA



Файзиматов Шухрат Нуманович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Ферганского политехнического института (Республика Узбекистан, Фергана). E-mail: shuhrat-fayzimatov@rambler.ru.

Mr. Shukhrat N. Faizimatov – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, Fergana Polytechnic Institute, (city of Fergana, Uzbekistan). E-mail: shuhrat-fayzimatov@rambler.ru.

Аннотация. В статье приводятся результаты экспериментальных исследований пневмовихревого устройства для автоматизации процесса перекачки агрессивных сред.

Summary. The paper presents the results of an experimental study of a pneumovortical device used for automated pumping of aggressive media.

Ключевые слова: пневмовихревой эффект, аэродинамический эффект, автоматизация технологического процесса, вакуум-насос, перекачка, агрессивная среда.

Key words: automatic device, pneumovortical effect, aerodynamic effect, automation of processes, vacuum pump, pumping, aggressive media.

УДК 621.787

Анализ состояния машиностроительных производств показывает, что повышение производительности труда и снижение себестоимости изготовления изделий предопределяет потребность предприятий в технологическом оборудовании, основывающемся на принципиально новых эффектах аэродинамики, обеспечивающих требуемую производительность, надежность и качество технологического процесса в условиях автоматизированного производства.

В промышленности для эпизодической перекачки кислот, щелочей, легколетучих жидкостей (бензина, спирта, эфира) и других химических агрессивных реагентов требуются насосы с простой конструкцией рабочих органов, быстротой подготовки к пуску при частых остановках, характеризующиеся простотой обслуживания.

Применение центробежных, поршневых и других насосов для этих целей неэффективно из-за сравнительно большой длительности пускового периода, громоздкости и сложности их эксплуатации.

Проведенные исследования установили перспективность создания и применения для этих процессов устройств пневмовихревого действия [1].

При исследовании распределения статического давления внутри камеры установлено [1], что в приосевой зоне вращающегося потока создается зона пониженного давления (разрежение), которая может быть использована для эжектирования агрессивных сред. Для этого к зоне разрежения пневмовихревой камеры следует подсоединить цилиндрический патрубок и второй его конец соединить через гибкую трубку с отсасываемым объемом.

На рис.1 показана принципиальная схема разработанного вакуум-насоса аэродинамического действия для перекачки агрессивных сред.

Устройство состоит из корпуса 1, втулки 2 с тангенциально расположенными отверстиями-соплами 3. На корпусе закреплен цилиндрический патрубок 4, который образует кольцевую полость 5 с внутренней поверхностью втулки 2. Элементы 2 и 4 образуют вихревой эжектор, который в процессе работы устройства обеспечивает разрежение в полости цилиндрического патрубка, соединенного с отсасываемым объемом 6. Соосно отверстию корпуса установлена цилиндрическая труба 7, соединенная с расширителями 8, 9 и выходной трубкой 10.

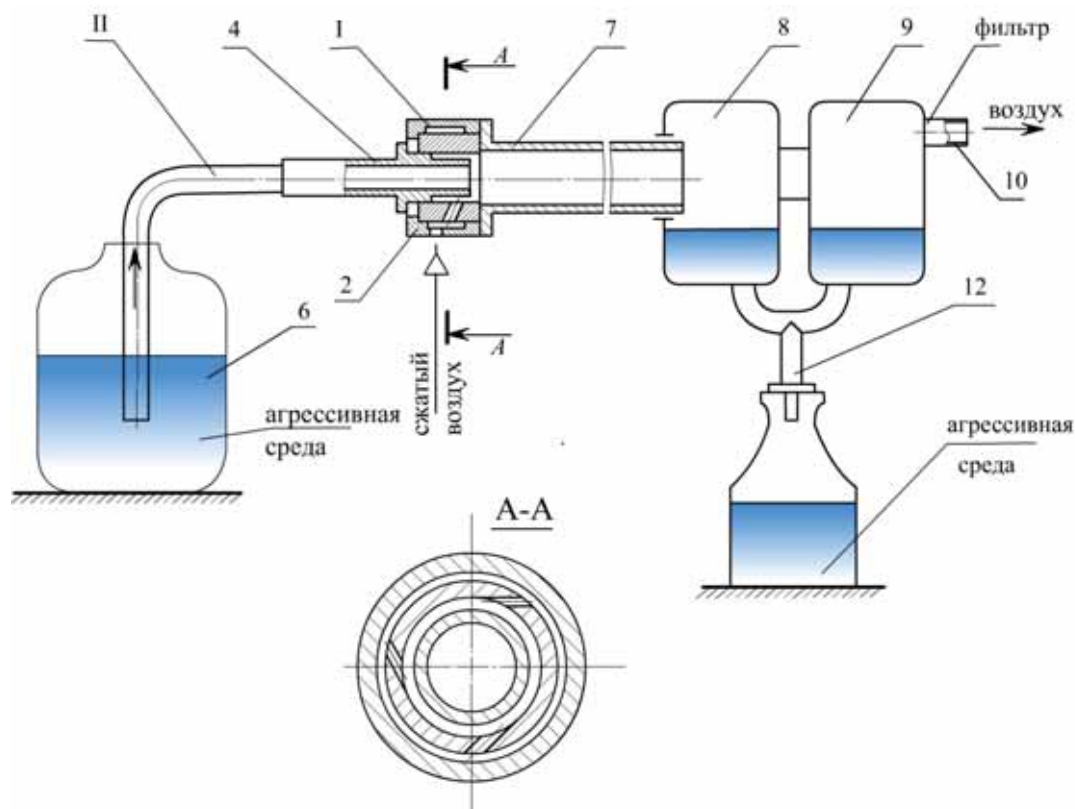


Рис.1. Принципиальная схема вакуум-насоса аэродинамического действия

Принцип работы вакуум-насоса заключается в следующем.

Сжатый воздух, поступающий из пневмосети, пройдя через тангенциальные сопла 3, приобретает вращательное движение, создавая в зоне центрального патрубка 4 разрежение. За счет перепада давлений из объема 6 через гибкую трубку 11, соединенную с цилиндрическим патрубком 4, поступает перекачиваемая агрессивная среда. В зоне сопел перекачиваемая среда приобретает вращательное движение вместе с воздухом. Смесь воздуха и жидкости, пройдя через цилиндрическую трубу 7, поступает в расширители 8 и 9. За счет резкого расширения в полостях расширителей и разности удельного веса воздуха и жидкости (агрессивной среды) происходит сепарация и отделение воздуха от жидкости. При этом сжатый воздух из емкости через фильтр в выходной трубке 10 выходит в атмосферу, а жидкость через трубки 12, установленные на дне расширителей, отводится в место назначения.

В процессе исследования влияния отдельных элементов конструкции вихревого насоса на его работу при выбранном диаметре цилиндрической камеры $D_k = 9,0$ мм наиболее детально было изучено влияние на степень разрежения в полости патрубка его диаметра и расположения торца относительно оси тангенциальных сопел, величины кольцевого зазора между цилиндрическим патрубком и внутренней поверхностью втулки.

При фиксированном значении входного давления в каждом случае замерялись:

- 1) перепад давления в центральном патрубке;
- 2) расход эжектируемой жидкости, поступающей через цилиндрический патрубок.

Экспериментальные исследования проводились при фиксированном значении диаметра цилиндрической трубки с одновременным варьированием диаметра цилиндрического патрубка d_n и кольцевого зазора Δ_3 . Диаметр цилиндрического патрубка изменялся в диапазоне $d_n = 3,0 - 7,5$ мм, кольцевой зазор варьировался в пределах $\Delta_3 = 0,3 - 2,0$ мм. Диаметр отверстий-сопел в процессе исследования выбирался постоянным: $d_c = 3,0$ мм, количество сопел три, угол наклона сопел $\alpha = 5^\circ$.

На рис. 2 приведены результаты исследования влияния диаметра цилиндрического патрубка на перепад давления при зазоре $\Delta_3 = 1,0$ мм.

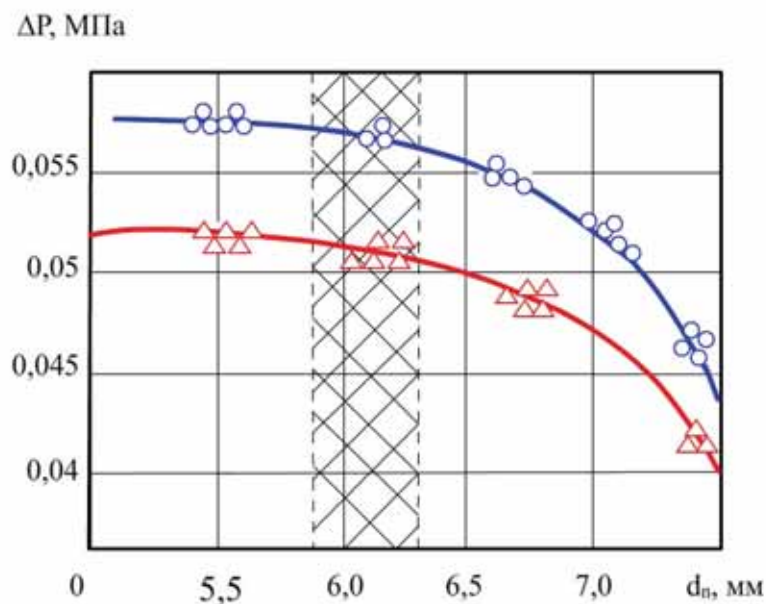


Рис. 2. Влияние диаметра патрубка на перепад давления при $D_k = 10$ мм, $\Delta_3 = 1,0$ мм:

- – при входном давлении $P_{вх} = 0,5$ МПа;
- △ – при входном давлении $P_{вх} = 0,4$ МПа

Как видно из графиков, с увеличением диаметра цилиндрического патрубка значение ΔP уменьшается. Это объясняется тем, что при увеличении диаметра цилиндрического патрубка выше определенной величины при неизменном внутреннем диаметре вихревой камеры диаметр патрубка выходит за пределы зоны разрежения и попадает в зону избыточного давления. В результате возникает ток рабочего воздуха из вихревой камеры в атмосферу.

При диаметре вихревой камеры $D_k = 9,0$ мм и диаметре цилиндрической трубки $D_T = 12,0$ мм, критическое значение диаметра патрубка составляет $d_n = 6,2$ мм.

Дальнейшие исследования проводились с целью определения оптимального значения кольцевого зазора Δ_3 .

На рис. 3 приведены результаты исследования влияния кольцевого зазора Δ_3 на перепад давления ΔP при диаметре цилиндрического патрубка $d_n = 6,2$ мм. Полученные результаты показывают, что оптимальное значение кольцевого зазора находится в диапазоне $\Delta_3 = 0,5 - 0,65$ мм.

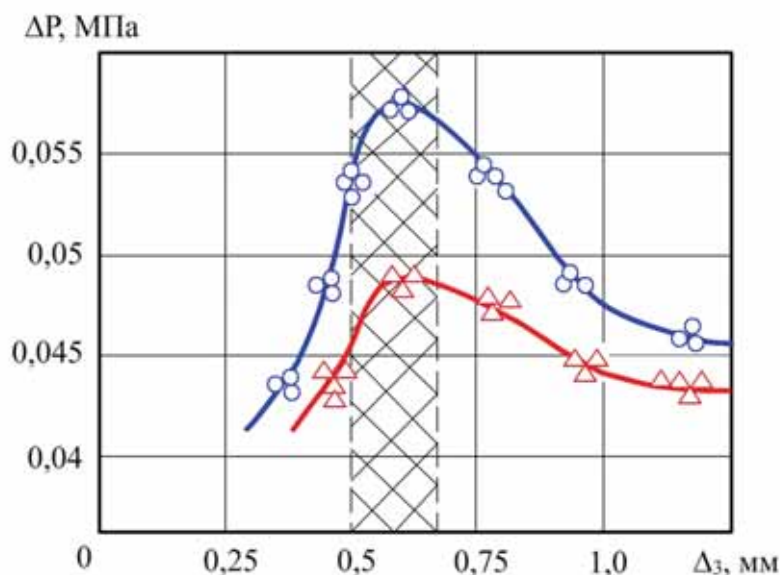


Рис. 3. Влияние кольцевого зазора ($\Delta z = D_T - d_n$) на перепад давления:

○ – при входном давлении $P_{вх} = 0,45$ МПа;

△ – при входном давлении $P_{вх} = 0,30$ МПа

В процессе исследования было определено также влияние расположения торца цилиндрического патрубка относительно оси отверстий-сопел на степень разрежения.

Эксперимент показал, что наилучший результат (максимум разрежения) был достигнут при смещении торца патрубка в сторону наклона сопел на $3,0^{\pm 0,5}$ мм, считая от точки пересечения оси отверстий-сопел с наружной поверхностью цилиндрического патрубка.

Таким образом, в процессе исследования определены оптимальные конструктивные параметры, влияющие на работу вихревого вакуум-насоса.

Производительность вихревого вакуум-насоса с оптимальными конструктивными параметрами при входном давлении сжатого воздуха $P_{вх} = 0,4$ МПа составила 4,5 л/мин.

Обобщая результаты проведенных исследований, можно сказать, что, несмотря на невысокую производительность, использование вихревого вакуум-насоса для периодической перекачки агрессивных сред является экономически выгодным и предпочтительным с точки зрения надежности, простоты обслуживания и других производственных факторов.

Опытная эксплуатация вихревого вакуум-насоса на предприятии подтвердила высокую надежность его работы.

Следует отметить, что компактность, малый вес, простота конструкции вихревого вакуум-насоса существенно расширяет его область эффективного применения. Например, благодаря высокой вакуумирующей способности разработанного вихревого вакуум-насоса, его можно применить для отсоса наждачной пыли от шлифовального круга, очистки рабочих зон от стружки и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Файзиматов, Ш. Н. Пневмовихревой эффект в автоматизации технологических процессов : моногр. / Ш. Н. Файзиматов. – Фергана, ФЕРГАНА, 2009. – 162 с.

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
METALLURGY AND MATERIALS TECHNOLOGY

Муравьев В.И., Бахматов П.В., Долотов Б.И., Физулаков Р.А., Фролов А.В.
V.I.Muravyev, P.V.Bakhmatov, B.I.Dolotov, R.A.Fizulakov, A.V.Frolov

**ПРОЦЕССЫ УПОРЯДОЧЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗДЕЛИЙ**

**NORMALIZATION OF STRUCTURAL NON-UNIFORMITY PROCESSES IN STRUC-
TURAL MATERIALS DURING COMPONENT PART MANUFACTURE**

Муравьев Василий Илларионович – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология сварочного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail : ktsp@knastu.ru.

Mr. Vassily I. Muravyev – Doctor in Engineering, Professor of the Department of Welding Engineering Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: ktsp@knastu.ru.

Бахматов Павел Вячеславович – кандидат технических наук, доц., доцент кафедры «Технология сварочного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail : ktsp@knastu.ru.

Mr. Pavel V. Bakhmatov – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Welding Engineering Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: ktsp@knastu.ru.

Долотов Борис Иванович – кандидат технических наук, проф., профессор кафедры «Технология сварочного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail : ktsp@knastu.ru.

Mr. Boris I. Dolotov – PhD in Engineering, Professor, Department of Welding Engineering Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: ktsp@knastu.ru.

Физулаков Роман Анатольевич – кандидат технических наук, доц., доцент кафедры «Материаловедение и технология новых материалов» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail : ktsp@knastu.ru.

Mr. Roman A. Fizulakov – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Materials/New Materials Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: ktsp@knastu.ru.

Фролов Алексей Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail : ktsp@knastu.ru.

Mr. Alexey V. Frolov – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: ktsp@knastu.ru.

Аннотация. В работе представлен обзор проведенных исследований коллективом специалистов ГОУВПО «КнАГТУ» и ОАО «Комсомольское на Амуре авиационное производственное объединение им. Ю.А. Гагарина» в период с 1968 г. по настоящее время при решении проблем производства качественных и надежных изделий и конструкций летательных аппаратов.

Summary. The paper reviews the studies that have been collaboratively conducted by a group of researchers at Komsomolsk-on-Amur State Technical University and at Yury Gagarin Komsomolsk-on-Amur Aviation Plant, since 1968 till the present time in the area of solution of the problems of producing high quality and trouble proof aircraft structures.



Ключевые слова: упорядочение, структурная неоднородность, надёжность летательных аппаратов, структурные изменения поверхности, объёмные структурные изменения, термический цикл сварки, дефектная структура, технологический процесс, фазовые превращения.

Key words: normalization, structural non-uniformity, airplane safety, surface structural fluctuations, body structural fluctuations, welding heat cycle, defect structure, production process, phase transformations.

УДК 629.7 : 621.7 : 669.295

Сохранение предшествующей и создание новой упорядоченной поверхностной структурной неоднородности конструкционных материалов [1, 2]

Научным коллективом проводятся систематические исследования существующих и новых процессов структурных изменений в поверхностном слое сталей и сплавов при взаимодействии с нагревающей средой, большой комплекс технологических, проектно-конструкторских и внедренческих работ. По результатам этих работ опубликовано 107 научных трудов, сделано 17 докладов на международных конференциях, приоритеты и новизна исследований подтверждены 23 авторскими свидетельствами и патентами на изобретение. Решая задачи обеспечения заданных физико-химических свойств деталей, сохранения геометрии и высокой точности или придания новой формы, сохранения без изменений поверхностного слоя и минимального уровня напряжений в процессе термического воздействия, были достигнуты следующие результаты.

Воздействие расплавленных солей. На основе проведённых исследований окисляющего, обезуглероживающего и коррозионного воздействия расплавленных солей на стали и сплавы определены закономерности воздействия различных видов раскислителей и установлены максимальное количество и условия введения их в ванну, что позволило вести нагрев под закалку резьбовых деталей, изготовленных по 6-му качеству точности, особенно с мелкой резьбой, пружин, режущего инструмента и других деталей, обеспечивая их высокое качество. При нагреве сталей в расплавленных солях происходит не только адсорбция на поверхности, но и диффузия ионов хлора вглубь. Поэтому промывка значительно влияет не только на точечную и язвенную коррозию, но и на общую коррозию образцов. При этом промывка в горячем водном растворе щёлочи в 5 – 10 раз сокращает скорость коррозии, по сравнению с промывкой в обычной горячей воде.

Применение защитных покрытий. Исследования защитных покрытий проводились с целью защиты резьб у деталей из конструкционных сталей, термическая обработка которых невозможна в соляных ваннах. Наилучшими свойствами обладают стеклоэмалевые покрытия. Испытания технологических свойств стеклоэмалевых покрытий показали, что они растрескиваются и отлетают при закалке в воде, масле и в селитре. Поверхность детали получается чистой, без окалины, что позволило использовать их при нагреве под штамповку, термообработку и др. для защиты поверхности заготовок из конструкционных материалов. Было установлено, что применение стеклоэмалевых покрытий наиболее эффективно вместе с применением предварительного низкотемпературного окисления для титановых заготовок – при нагреве под штамповку практически в 2 раза уменьшается глубина слоя с изменённой микроструктурой и твёрдостью.

Атмосфера сухого воздуха. Наиболее инертной средой в атмосфере сухого воздуха является прокалённый песок, просушенный графит, применение которых в песочных затворах особенно целесообразно для дисперсионного твердения и отжига высоколегированных сталей и сплавов. Существенный рост оксидной плёнки на поверхности титановых сплавов наблюдается при нагреве в воздушной атмосфере в электропечи : с температуры 650 °С – при выдержке более 1 ч, с температуры 900 °С – при выдержке более 30 мин, при электроконтактном нагреве с температуры 1000 °С – при выдержке более 5 мин (рис. 1). Исследованиями установлено, что электроконтактный нагрев и последующий отжиг в воздушной среде

позволяет получать сложные листовые детали из титановых сплавов с высокими показателями механических свойств, при этом содержание газовых примесей в поверхностном слое находится в пределах допуска по ОСТ 190013-81. Установлены условия использования газолазерного раскроя (ГЛР) в среде технического азота без защиты обратной стороны реза в атмосфере воздуха титановых сплавов. При этом содержание газовых примесей в поверхностном слое образцов после ГЛР соизмеримо с содержанием газовых примесей в основном металле. Показано, что образующийся при ГЛР титановых сплавов град можно использовать для изготовления порошкового материала – нитрида титана.

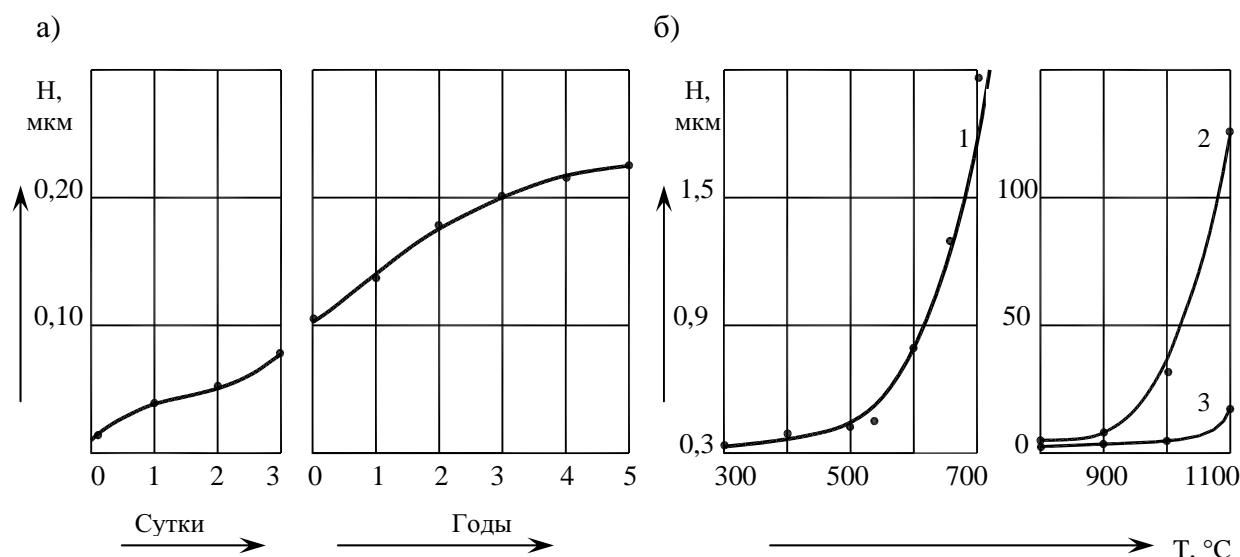


Рис. 1. Рост толщины оксидной плёнки на поверхности титана:

а – при температуре окружающего воздуха 25 °С, б – при выдержке : 1 – 60 мин, 2 – 30 мин, 3 – 5 мин; для соответствующей температуры : 1, 2 – при нагреве в электропечи, 3 – при электроконтактном нагреве

Геттеры (газопоглотители) для создания защитной и насыщающей среды в атмосфере воздуха. Кинетические кривые изменения давления воздуха в изолированном объёме показывают, что нагрев увеличивает давление до определённой величины, соответствующей заданной температуре. Изотермическая выдержка практически не влияет на изменение давления. Добавки титановой стружки (геттеры) приводят к изменению вида кинетических кривых, давление воздуха в изолированном объёме возрастает, а затем начинает падать (рис. 2). На поверхности титановой стружки при температурах 500 – 600 °С образуются следы окисной плёнки, которые при нагреве выше этих температур исчезают. Было установлено, что в бескислородной среде добавка углеродистых материалов для уменьшения количества газов в изолированном объёме не приводит к взаимодействию с поверхностью сталей и сплавов при температурах до 1100 °С и обычной засыпке. При нагреве под термообработку в изолированном контейнере с титановой стружкой деталей из сталей различного класса их окисление не происходит, поверхность образцов получается светлой, блестящей, не требующей очистки, доработки, что позволяет повысить их качество и надёжность. Сравнительные испытания усталостной прочности показали, что образцы из высокопрочной коррозионно-стойкой стали при термической обработке в вакууме имеют усталостную прочность в 1.5...2 раза меньше, чем при термической обработке в контейнере с титановой стружкой (табл. 1).

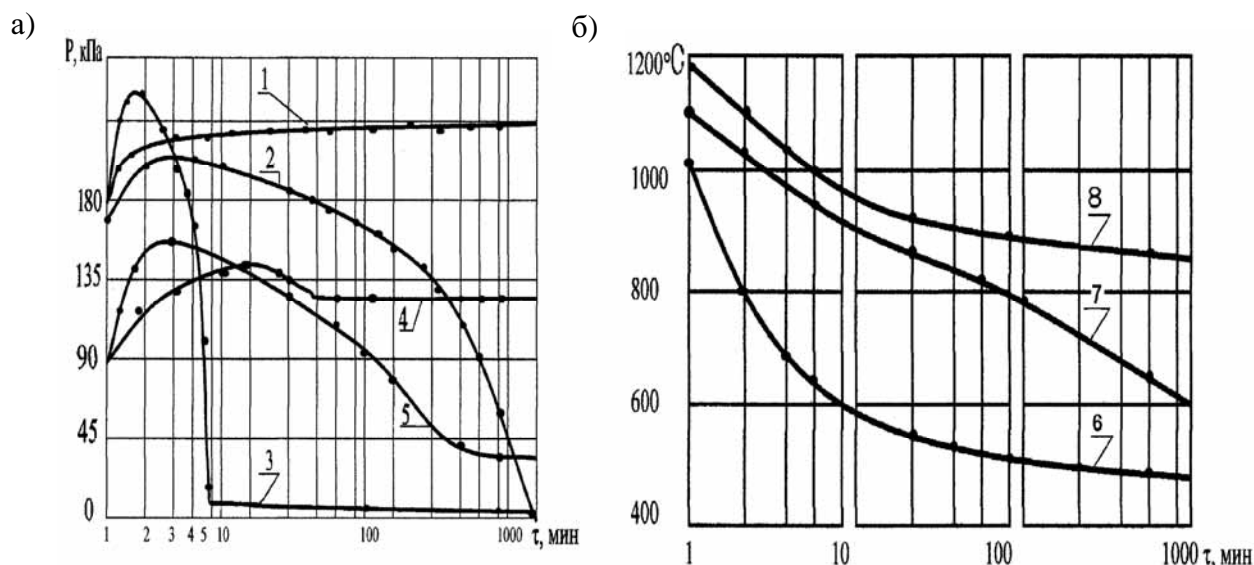


Рис. 2. Кинетические кривые: *а* – изменение давления в изолированном объеме воздуха при различных температурах нагрева титановых образцов из сплава ВТ1: 1 – пустой контейнер, 2 – при $V/S = 0,5$; 3, 4, 5 – при $V/S = 0,05$; 1, 2, 3 – 900 °С; 4 – 450 °С; 5 – 700 °С; *б* – изменение границ: существования окисной (6), и нитридной (7) пленок; начала вакуумного травления (8) при соотношении $V/S = 0,05$

Таблица 1

Изменение прочности и малоциклового усталости коррозионно-стойких сталей в зависимости от режима закалки, среды нагрева под закалку и вида механической обработки после закалки

Среда нагрева и выдержка, мин	Глубина дефектного слоя, мм	σ_B , МПа		Число циклов до разрушения при $\sigma_{\alpha}^{sp} = (0,7\sigma_B - 0,2\sigma_B)/2$	
		13X15H4AM3	08X15H5Д2Т	13X15H4AM3	08X15H5Д2Т
1	2	3	4	5	6
Соляная ванна, 60	0,35	1360... 1370	—	12 400... 16500	—
		1365	—	18 939	—
	Отсутствует*	1400...1420	—	24 590...32 650	—
		1410	—	35 190	—
Вакуум, 60	0,20	1270...1370	—	25 300...32 650	—
		1350	—	29 296	—
	Отсутствует*	1430...1450	—	44 820...67 620	—
		1440	—	54 970	—
Вакуум, 45	0,10	1420...1440	1270...1300	11 000... 15000	36 280...41 300
		1430	1290	12 980	37 954
	Отсутствует**	1420...1440	1280...1310	21 300...25 600	69 275...75 980
		1430	1290	23 900	73 582
	-0,03***	1435...1440	1275...1320	34 300...39 980	138 600...147 200
		1440	1290	38 954	144 860
Аргон, 60	0,12	1360...1380	—	20 720...25 430	—
		1370	—	23 575	—
	Отсутствует*	1400...1400	—	27 200...38 950	—
		1400	—	36 650	—
Эмаль, 60	0,05	1390...1440	—	30 380...64 300	—
		1420	—	48 270	—

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
	Отсутствует*	$\frac{1440...1400}{1440}$	—	$\frac{63\ 690...69\ 670}{65\ 740}$	—
Эмаль, 45	Отсутствует***	$\frac{1490...1520}{1500}$	$\frac{1290...1320}{1300}$	$\frac{77\ 000...123\ 100}{92\ 420}$	$\frac{265\ 350...290\ 480}{280\ 920}$
Изолированный объем воздуха, 60	0.03	$\frac{1410...1450}{1430}$	—	$\frac{41\ 560...60\ 870}{54\ 280}$	$\frac{98\ 352...112\ 300}{103\ 330}$
	Отсутствует*	$\frac{1430...1440}{1440}$	—	$\frac{61\ 270...70\ 320}{8\ 430}$	$\frac{156\ 800...174\ 200}{166\ 230}$

*Удаление дефектного слоя проточкой, ** то же шлифованием; *** то же опескоструиванием.

Примечания. 1. В числителе приведены минимальные и максимальные значения, а в знаменателе – среднее значение (из 7 образцов).

2. σ_{α}^{cp} – амплитуда напряжений при усталостных испытаниях.

Использование псевдооживленного слоя сыпучих материалов. Исследованиями было установлено, что одним из перспективных направлений существенного упрочнения и создания новой поверхностной структурной неоднородности деталей из сплавов и сталей является интенсификация процессов нагрева под штамповку и термообработку в печах и установках с псевдооживленным (кипящим) слоем различных сыпучих материалов.

Исследования внесли весомый вклад в теорию и практику интенсификации процессов нагрева, охлаждения, диффузионного взаимодействия со средой заготовок из различных конструкционных материалов. Интенсивность нагрева заготовок в таком слое не уступает интенсивности нагрева в расплавах солей и соизмерима с нагревом токами высокой частоты. Процесс охлаждения в нем по интенсивности не уступает охлаждению в масле, и при этом исключаются вредные для воды, масла и даже жидкого азота процессы пленочного кипения и образования паровой рубашки на поверхности деталей при охлаждении.

Впервые показана интенсификация более чем на порядок скорости диффузионного легирования поверхности металлов из твердой фазы под воздействием электрического тока в инертной среде и вакууме (цементация, цианирование, азотирование, борирование, комплексное легирование и др.).

Проведение этих исследований позволило в кратчайшие сроки внедрить процессы цианирования и азотирования винтовой пары для ЛА с изменяющейся стреловидностью крыла и борирования титанового лыжонка в фильтрующемся слое на традиционном оборудовании.

Диффузионная металлизация в псевдооживленном слое углеграфитовых материалов позволяет интенсифицировать процессы насыщения по сравнению с неподвижным слоем в 2-3 раза и приблизить его к интенсивности насыщения из расплавов солей. Псевдооживление позволяет увеличить количество инертной добавки без существенного снижения интенсивности процесса, исключает спекание насыщающей среды и припекание ее к поверхности насыщаемых изделий и исключает трудоемкие операции загрузки и выгрузки изделий. Скорость разогрева насыщающей среды в вибропсевдооживленном слое при обычных условиях в 5, а в вакууме в 4 раза быстрее, чем в неподвижном слое. Использование инертных газов азота или аргона позволяет загружать изделия непосредственно в разогретую печь и осуществлять непрерывный цикл обработки без ее охлаждения.

Этот метод позволяет существенно повышать градиент химического потенциала насыщающего элемента за счет как каталитического воздействия добавок катализаторов, так и за счет образования промежуточных высокореактивных соединений радикалов непосредственно на поверхности обрабатываемых деталей и интенсифицировать диффузионные процессы.

Борирование повышает абразивный износ титановых сплавов в 10 раз, по сравнению с исходным состоянием. Борирование, алитирование и силицирование повышает окислительность титановых сплавов в 10, 6 и 4 раза, а бороалитирование в 20 раз, по сравнению с образцами без покрытия. Борирование, силицирование и хромирование улучшают, а алитирование, боро- и хромоалитирование ухудшают кислотостойкость титановых сплавов. Борирование, бороалитирование, хромирование и титанирование улучшают, а силицирование и алитирование ухудшают кислотостойкость нержавеющей стали 12Х18Н9Т. Максимальной термостойкостью, более чем на порядок, обладают образцы молибдена после титаносилицирования по сравнению с исходным состоянием.

Создание объемного упорядочения структурной неоднородности конструкционных материалов в процессе фазовых превращений [3]

Традиционные технологические методы повышения прочности, основанные на увеличении плотности дислокаций и уменьшении их подвижности, приводят к снижению пластичности, вязкости и, тем самым, надежности изделий.

При наличии критической концентрации плотности дислокаций в силу неравномерного распределения структурных дефектов отдельные объемы металла и сплава пересыщаются дислокациями. Это вызывает нарушение сплошности в виде субмикроскопических трещин и снижение прочности. Последующий отпуск приводит к уменьшению прочности на 20...30 %, а пластичность возрастает, причем, чем выше температура отпуска, тем меньше предел прочности и выше пластичность.

Существуют и исключения из общих закономерностей, когда под влиянием технологических приемов одновременно увеличиваются и прочность, и пластичность.

По результатам работ в этой области опубликовано 159 научных трудов, сделано 14 докладов на международных конференциях, приоритет и новизна исследований подтверждена 44 авторскими свидетельствами и патентами на изобретения.

Исследования влияния режимов закалки стали марки 30ХГСА на механические свойства показали, что после закалки образцов $\varnothing 10$ мм с 890 ± 110 °С в масле $\sigma_b = 1600 \dots 1800$ МПа, $\delta = 1 \dots 2$ %; последующего отпуска при $480 \dots 530$ °С, 1 ч $\sigma_b = 1100 \dots 1300$ МПа, $\delta = 8 \dots 12$ %; изотермической закалки в щелочи при 380 ± 10 °С, 20 мин $\sigma_b = 1450 \dots 1600$ МПа, $\delta = 14 \dots 18$ %. Проведёнными исследованиями [3] изотермической закалки, как инструмента нанотормирования дефектной структуры стали марки Р18, был разработан оптимальный режим, включающий (в зависимости от химического состава стали) температуру нагрева под закалку 1280 – 1290 °С, температуру изотермической выдержки 280 – 320 °С и время выдержки, исключающее бейнитное превращение, что позволяет выравнивать плотность дефектов на низких структурных уровнях и в результате комплексно улучшить характеристики материала: предел прочности – на 45 %, красностойкость – на 10 % при одновременном увеличении пластичности, износостойкость – на 66 %.

Особое состояние фазового предпревращения характеризуется наименьшей устойчивостью атомов для обеих фаз. Тепловое воздействие на металл и сплав в интервале температур предпревращения приводит к максимальной диффузионной подвижности атомов. В этих условиях протекают многоуровневые релаксационные процессы, которые фиксируются при последующем охлаждении и обеспечивают повышенную прочность и пластичность заготовок и их высокую стабильность. Исследованием влияния температуры окончательной штамповки на механические свойства заготовки из сплава марки ВТ20 одной и той же плавки с температурой полиморфного превращения $T = 975$ °С после предварительной двухступенчатой штамповки подвергались окончательной третьей штамповке после нагрева их до температуры полиморфного предпревращения и охлаждению на воздухе с последующим отжигом при температуре 960 °С, в течение 1 ч. Установлено, что деформация в температурном интервале существования α -фазы, близкой к температуре полиморфного превращения $\alpha \rightarrow \beta$ приводит к образованию структуры (рис. 3, б), связанной с процессами рекристаллизации,

коагуляции и глобуляризации, что позволяет повысить предел прочности на 8...10 %, а характеристики пластичности в 1.5...2 раза, уменьшить анизотропию свойств штамповок в зависимости от направления испытаний и улучшить качество деталей.

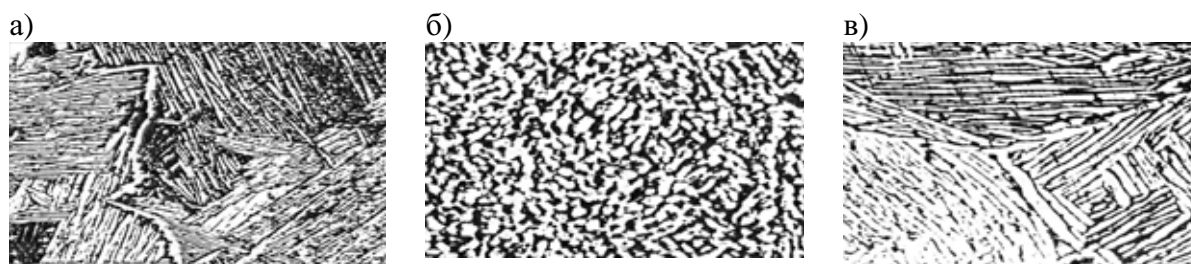


Рис. 3. Микроструктура образцов заготовок при различной температуре окончательной штамповки: а – 1100 °С; б – 970 °С; в – 920 °С

Исследование электроконтактного нагрева заготовок из сплава марки ВТ20 до температур полиморфного «предпревращения» $\alpha \rightarrow \beta$ и последующего охлаждения в штампе позволило одновременно увеличить прочность и пластичность, при этом σ_B повысилась на 15 %; $\sigma_{0,2}$ – на 13 %; δ – на 45 %, угол загиба – на 25 %; малоцикловая усталость – на 23 %, по сравнению с традиционными способами упрочнения; и существенно снизить содержание газовых примесей (H_2 , O_2 , N_2). Максимум пластичности на образцах из сплава ВТ20 достигается при введении удельной энергии ЭИВ $q = 2...4$ Дж/мм³, что соответствует разогреву заготовки до температур 220...540 °С. Время формообразования детали не превышает 0,8...1,0 с. Механические свойства заготовок, обработанных по такому способу, составляли: $\sigma_B = 1270$ МПа, $\delta = 28$ % (табл. 2).

Таблица 2

Механические свойства сплава ВТ20 после различных видов упрочнения
в процессе формообразования

Способ упрочнения	Механические свойства					Содержание газов		
	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Угол, °	Число циклов до разрушения при $\sigma_{\alpha}^{cp} = (0,75\sigma_B - 0,49\sigma_B)/2$	H_2	O_2	N_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Исходное состояние, отжиг 650 °С, 1 ч	1080	1030	12	38	-	0.0081	0.085	0.021
Холодная прокатка	1130	1090	7	34	-	-	-	-
Холодная прокатка, отжиг 650 °С, 1 ч	1130	1080	9	36	-	0.0085	0.098	0.020
Холодная прокатка, отжиг 860 °С, 1 ч	1050	980	11	38	-	0.0087	0.090	0.023
Электроконтактный нагрев 1020 °С, охлаждение в металлической матрице, отжиг 650 °С, 1 ч	<u>1100–1130</u> 1110	<u>1030–1080</u> 1050	<u>10–12</u> 11	<u>36–42</u> 40	<u>215000–243000</u> 222000	0.0112	0.117	0.039
Электроконтактный нагрев 960 °С, охлаждение в металлической матрице	1260	1210	18	44	...	0.0096	0.093	0.029

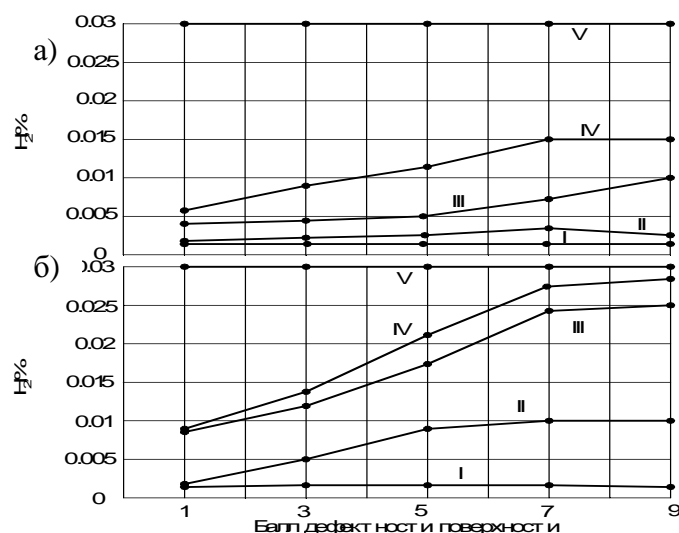
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Электроконтактный нагрев 960 °С, охлаждение в металлической матрице, отжиг 650 °С, 1 ч	$\frac{1240-1270}{1250}$	$\frac{1180-1210}{1190}$	$\frac{14-18}{16}$	$\frac{44-48}{46}$	$\frac{237000-263000}{255000}$	0.0096	0.093	0.029
Электроимпульсное воздействие с введением удельной электрической энергии $q = 1,7$ Дж/мм ³	$\frac{1250...1280}{1270}$	$\frac{1180...1220}{1200}$	$\frac{24...30}{28}$	$\frac{48...52}{50}$	$\frac{268000...296000}{282000}$	0.0078	0.089	0.019
Требования для сплава ВТ20 по ГОСТ 90218-76	1000...1200	...	9	30	...	-	-	-

Примечание. В числителе – максимальные и минимальные значения, в знаменателе – среднее значение семи испытанных образцов.

Управление упорядочением структурной неоднородности металла шва сварных конструкций из титановых сплавов [3]

По результатам систематических исследований существующих и новых процессов сварки плавлением титановых конструкций и сварки трением конструкций из алюминиевых сплавов опубликовано 123 научных труда, сделано 23 научных доклада на международных конференциях, приоритет и новизна исследований подтверждена 27 авторскими свидетельствами и патентами на изобретения, одним свидетельством по заявке №А-93 от 08.01.1998 на научную идею «О самопроизвольном сжатии дугового разряда» регистрационный № 93 от 11.05.1998 г. приоритет от 30.05.1996.

Конструкции из листовых заготовок. Разработана концепция управления процессом термического цикла сварки (ТЦС) титановых сплавов для создания металла шва с заданными свойствами путем установления связей между их составом, технологий и свойствами. Для оценки эффективности процесса ТЦС титановых сплавов предложено использовать (величину) насыщенность капиллярно-конденсированной влагой поверхности стыкуемых заготовок и присадочной проволоки, позволяющую учитывать порообразование в металле шва и скорость охлаждения в интервале температур полиморфного превращения, определяющую структуру и свойства металла шва. При этом установлена взаимосвязь между конденсированной влагой и содержанием водорода в поверхностном слое титановых заготовок, позволяющая четко разделить поверхностно-адсорбированную влагу и капиллярно-конденсированную в зависимости от качества поверхности стыкуемых заготовок и присадочной проволоки (рис. 4).



Содержание водорода: I – в основном металле, II – после обезжиривания в спирте исходной поверхности, III – исходная поверхность после механической обработки, IV – после охлаждения до -10 °С и выдержки на воздухе при комнатной температуре 2 ч, V – сразу после охлаждения до -10 °С

Рис. 4. Изменение содержания водорода в поверхностном слое заготовок из титановых сплавов ВТ1-00 (а) и ВТ20 (б) в зависимости от балла дефектности, вызванного различными методами обработки, условиями хранения и последующей обработки.

1 – чистовое шлифование; 3 – шабрение; 5 – чистовое фрезерование; 7 – грубое фрезерование; 9 – рубка на ножницах гильотинного типа

Сравнительными исследованиями механических свойств основного металла и металла шва листовых заготовок различных толщин и плавок по результатам входного и технологического контроля конкретных деталей ЛА за пятилетний период было установлено, что для толщин 1,2 мм и 2,0 мм независимо от химического состава свойства металла шва и основного металла практически не различаются, а для толщин 2,5 мм и 3,0 мм независимо от химического состава свойства металла шва ниже свойств основного металла и в некоторых случаях более чем на 10 – 15 %. Изменение режимов ТЦС на «жесткие» для этих толщин привело к увеличению временного сопротивления разрыву металла шва по сравнению с основным металлом более чем на 15 % и незначительному уменьшению угла загиба. Из проведенных исследований следует, что механические свойства металла шва титановых сплавов определяются процессами ТЦС (рис. 5).

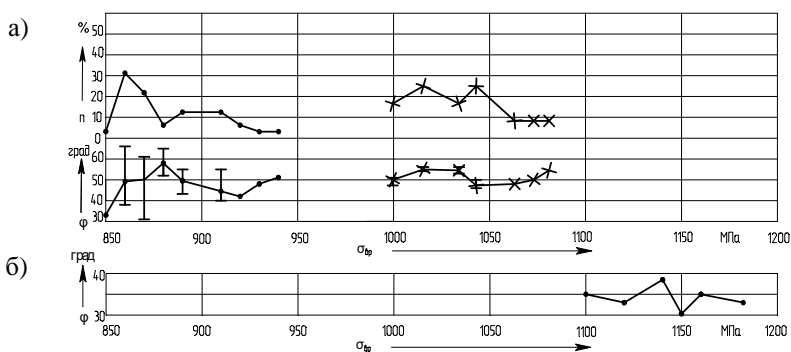


Рис. 5. Изменение механических свойств основного металла (-x-x-x) и сварного шва (- ---) образцов из листа $\delta = 2,5$ мм сплава марки ВТ20 в зависимости от режима ТЦС:
 а – традиционные режимы сварки; б – «жесткий» режим сварки

Установлено, что температурное поле, достаточное для удаления капиллярно-конденсированной влаги с поверхности заготовок, находится в диффузионной зоне соединения, где происходит полное смятие выступов шероховатости микронадрывов и образование замкнутых полостей, заполненных влагой. Регулярное чередование выступов на поверхности титановых заготовок, образованных ГЛР, и их высокая твердость, практически сохраняющаяся до температуры плавления, позволяют полностью удалить капиллярно-конденсированную влагу с поверхности заготовки, полученной раскроем на ножницах гильотинного типа, и получить металл шва высокой плотности без пор. В последнем случае поры образуются в случае использования некачественной присадочной проволоки.

Теоретически обосновано и экспериментально установлено, что улучшение свойств металла шва титановых сплавов определяется процессами ТЦС, а именно процессами превращения при охлаждении из расплавленного состояния за счет получения мелкозернистой структуры и изменения толщины и ориентировки α -пластин в процессе охлаждения, что позволяет, назначая режимы ТЦС, прогнозировать свойства титановых конструкций (рис. 6).

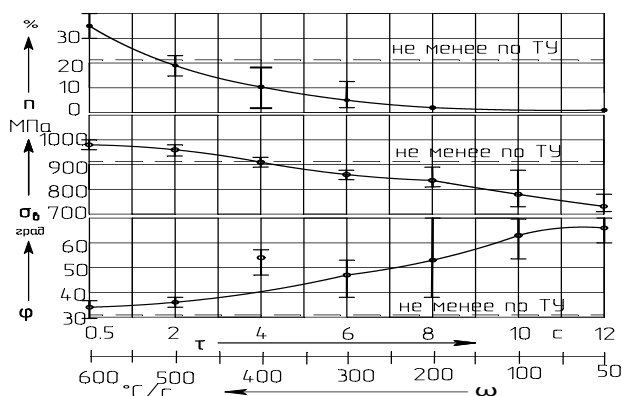


Рис. 6. Изменение механических свойств сварных образцов из титанового сплава ВТ20 и количества пор на 100 мм сварного шва в зависимости от времени существования расплава сварочной ванны и скорости охлаждения в интервале полиморфного β - α -превращения

Исследования механических свойств при статических, повторно-статических и виброиспытаниях титановых конструкций показали, что конструкции, изготовленные при применении оптимальных режимов ТЭС и термообработки, не уступают конструкциям, изготовленным по традиционной технологии из цельного металла.

Конструкции из плит и штамповок. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработана и внедрена в производство усовершенствованная технология сварки, позволяющая получать за один проход соединения толщиной до 54 мм и до 76 мм при двусторонней сварке, что в полтора раза превышает базовые показатели; более полная реализация предлагаемых технологических решений позволит достичь прогнозируемого результата в 60 мм и 100...110 мм соответственно.

При разработке простой и надежной конструкции электрода с повышенной проплавляющей способностью исходили, во-первых, из того факта, что электрическая сварочная дуга является, по существу, проводником, по которому течет ток. Во-вторых, учитывалась возможность обязательного увеличения рабочей (скругленной) поверхности электрода в случае необходимости повышения сварочного тока. Если исходить из принципа равенства площадей скругленной рабочей поверхности электрода и поверхности, занимаемой катодным пятном, то можно сохранять высокую стойкость электрода при увеличении силы сварочного тока путем увеличения площади рабочей поверхности. Наиболее благоприятной, с этой точки зрения, является тороидальная заточка рабочего торца электрода.

Дуга, горящая с тороидального электрода, имеет форму полого цилиндра – полоцилиндрическая дуга. Поперечное сечение такой дуги будет иметь форму кольца (рис. 7, а). Эту дугу можно смоделировать в виде множества параллельных токов, суммарное электромагнитное взаимодействие которых должно приводить к ее контрагированию в результате эффекта самофокусирования (рис. 7, б).

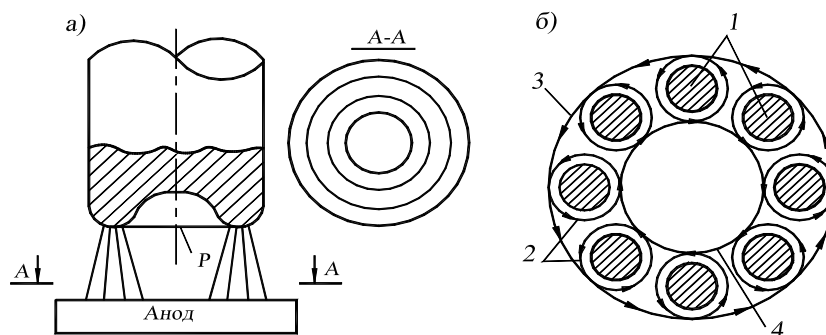


Рис. 7. Тороидальный электрод с полоцилиндрической дугой (а); схема, поясняющая возникновение эффекта сжатия кольцевой сварочной дуги (б): 1 – проводники; 2 – магнитные поля проводников; 3 – внешнее суммарное магнитное поле; 4 – внутреннее суммарное магнитное поле

Механизм самофокусирования объясняется следующим. Во-первых, плазменные стенки полоцилиндрической дуги должны сжиматься в результате суммарного взаимодействия внешнего и внутреннего магнитных полей, направленных в противоположные стороны (рис. 7, а). Во-вторых, суммарное взаимодействие параллельных токов должно привести к сжатию (самофокусированию) всей полоцилиндрической дуги (рис. 7, б).

Такая конструкция, получившая название «тороидальный электрод», выгодно отличается от других конструкций простотой исполнения и высокой динамичностью основных характеристик: при неизменном диаметре электрода площадь его рабочей поверхности можно изменять в широких пределах путем изменения диаметра центральной лунки (рис. 8). При

этом появляется возможность в значительной степени увеличить сварочный ток и достичь значительной глубины проплавления.

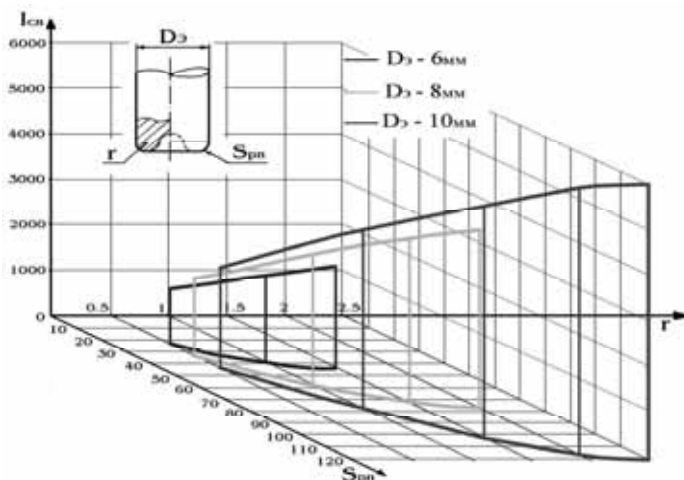


Рис. 8. Изменение площади рабочей поверхности (S_n) и расчетной силы сварочного тока ($I_{св}$) в зависимости от радиуса тора

Установлено, что оптимальной формой кромки для формирования металла шва является кромка, образованная гидроабразивной резкой и плазменной резкой. Изменение поверхностного слоя сформированной кромки составляет 0,5...1,0 мм для гидроабразивной резки и 1,5...2,0 мм — при плазменной, что при соблюдении коэффициента фугитивности $K = 35,64 \cdot 10^4$ кДж/м² позволяет получать качественную форму металла шва с высокими показателями его механических свойств за счёт эффекта саморафинирования, что позволяет использовать его для изготовления ответственных титановых конструкций. Газокислородная резка обеспечивает высокие механические показатели металла шва, но из-за грубого рельефа кромок после сварки в металле шва наблюдается значительная усадка, что позволяет использовать этот способ только для изготовления оснастки.

Сравнительными исследованиями металла шва, полученного электрической дугой и электронным лучом, всех толщин, вплоть до максимальной, установлено, что величины механических свойств не выходят за пределы требований, предъявляемых к высоконагруженным титановым конструкциям. При формировании металла шва электрической дугой временное сопротивление разрыву несколько меньше, а ударная вязкость выше, в сравнении с металлом шва, сформированного электронным лучом. Малоцикловая усталость практически мало различается. Различия в значениях механических свойств вызваны изменениями в структуре металла шва из-за разной скорости охлаждения при кристаллизации, что позволяет улучшать механические свойства путем изменения скорости кристаллизации металла шва, это подтверждается электронно-микроскопическими исследованиями микроструктуры металла шва.

Исследованиями химического состава и примесей газов установлено, что распределение газов N_2 , O_2 , H_2 как при сварке СПВЭ, так и ЭЛС находятся в пределах допуска для соединений ответственного назначения и составляют: для кислорода — 0,043 — 0,079 %, для азота — 0,019 — 0,034 %, для водорода — 0,0027 — 0,0088 %, а для основного металла: кислород — 0,064 %, азот — 0,026 %, водород — 0,0054 %. Закономерности распределения примеси H_2 удовлетворительно согласуются с данными С.М. Гуревича, а именно: в металле шва содержание H_2 ниже, чем в основном металле.

Сварка трением с перемешиванием (СТП) [5]. Установлена возможность СТП конструкций из высокопрочных алюминиевых сплавов на примере сплава марки В95. Апробирован метод моделирования процесса получения сварного соединения на пластилиновой модели. Определены максимальная температура и характер ее распределения как в образце, так и рабочем инструменте при СТП алюминиевого сплава В95.

По результатам механических испытаний видно, что сварные соединения после СТП имеют прочность в 1,89 – 2,75 раза ниже, чем основной металл. После закалки и естественного старения значения механических свойств идентичны основному металлу (табл. 3).

Таблица 3

Результаты механических испытаний образцов из сплава В95

Номер образца	Предел прочности σ_b , МПа		
	Основной металл	После СТП	После СТП, закалки и старения
1	539,0	274,4	547
2	539,0	284,2	535
3	539,0	296,0	503
4	509,6	245,0	522
5	542,0	245,8	554

Исследованиями макро- и микроструктуры металла шва, выполненного СТП, установлено, что во всей зоне соединения с основным металлом отсутствуют дефекты в виде трещин и пор (рис. 9). Структура металла шва однородная, мелкозернистая, резко отличающаяся от структуры основного металла. Относительно оси симметрии поперечного сечения сварного соединения наблюдается различие в ширине переходной зоны от сварного шва к основному металлу. Относительно направления движения РИ при вращении его по часовой стрелке минимальная ширина переходной зоны расположена слева.

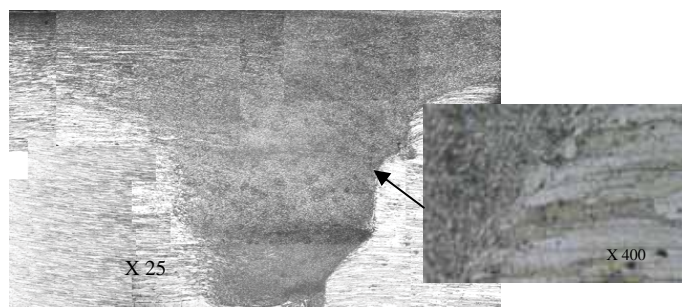


Рис. 9. Макро- и микроструктура поперечного сечения сварного шва, выполненного СТП.

СТП с последующей термической обработкой позволяет получать сварные соединения из алюминиевого сплава марки В95 прочностью, близкой основному металлу, что дает возможность изготавливать панели с коэффициентом использования металла 0,89 – 0,92 вместо 0,07 – 0,20 (при фрезеровании плит).

ЛИТЕРАТУРА

1. Братухин, А. Г. Современные технологии авиастроения / А.Г. Братухин, Б.И. Долотов, В.И. Муравьев [и др.]; под ред. А.Г. Братухина. Ю.Л. Иванова. – М.: Машиностроение, 1999. – 832 с.
2. Муравьев, В. И. Изготовление литых заготовок в авиастроении / В.И.Муравьев, В.И.Якимов, А.А.Евстигнеев [и др.]; под ред. В.И. Муравьева – Владивосток: Дальнаука, 2003. – 616 с.
3. Муравьев В.И., Обеспечение надежности конструкций из титановых сплавов / В.И. Муравьев, П.В. Бахматов, Б.И. Долотов [и др.]; под ред. В.И. Муравьева. – Москва: «Эком», 2009. – 752 с.
4. Муравьев, В. И. Изотермическая закалка как инструмент наноформирования дефектной структуры стали Р18 для улучшения эксплуатационных характеристик режущего инструмента. / В.И.Муравьев, А.В.Фролов, А.М.Злыгостев [и др.] // Металлообработка. – 2009. – № 2. – С. 50-57.
5. Бахматов, П. В. Исследование параметров сварки трением с перемешиванием высокопрочного алюминиевого сплава В95Т2 / П.В. Бахматов, В.И. Муравьев, К.А. Мелкоступов // Сварочное производство. – 2010. – № 6. – С. 17-19.

М.В. Салина, А.И.Евстигнеев

ВЛИЯНИЕ ВАКУУМИРОВАНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И РАЗМЕРНУЮ ТОЧНОСТЬ ВЫПЛАВЛЯЕМЫХ МОДЕЛЕЙ И ОТЛИВОК В ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Салина М. В., Евстигнеев А. И.

M. V. Salina, A. I. Evstigneev

ВЛИЯНИЕ ВАКУУМИРОВАНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И РАЗМЕРНУЮ ТОЧНОСТЬ ВЫПЛАВЛЯЕМЫХ МОДЕЛЕЙ И ОТЛИВОК В ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

INFLUENCE OF VACUUM PUMPING OUT ON PHYSICAL MECHANICAL PROPERTIES AND DIMENSIONAL ACCURACY OF MELTED MODELS AND FOUNDRY IN INVESTMENT PROCESSES



Салина Марина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технология литейного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: salmav@mail.ru.

Ms. Marina V. Salina – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Foundry Industrial Machinery and Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University. E-mail: salmav@mail.ru

Евстигнеев Алексей Иванович – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: prorector-nr@knastu.ru.

Mr. Alexey I. Evstigneev – Doctor in Engineering, Professor, Provost for Research, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: prorector-nr@knastu.ru

Аннотация. В статье сделан подробный анализ существующих технологий получения выплавляемых моделей в ЛВМ и предложен способ получения выплавляемых моделей холодным прессованием с предварительным вакуумированием, позволяющий повысить физико-механические свойства и размерную точность моделей и отливок в ЛВМ.

Summary. The paper offers a detailed review and analysis of existing technologies for producing melted models in investment casting; and the way of producing melted models by cold pressing with preliminary vacuum pumping is offered. This method allows improving physical and mechanical properties and dimensional accuracy of models and foundry in lost-wax casting.

Ключевые слова: выплавляемые модели, размерно-геометрическая точность, физико-механические свойства, усадочные дефекты, пресс-форма, вакуумирование, холодное прессование, насыпная масса, усилие прессования.

Key words: melted models, dimensional geometrical accuracy, physical mechanical properties, shrink defects, compression mould, vacuum pumping, cold pressing, bulk weight, moulding force.

УДК 621. 74. 045

Литье по выплавляемым моделям (ЛВМ), благодаря своим преимуществам [3], нашло широкое применение для получения высокоточного литья в машиностроении. Возможности метода позволяют приблизить отливки к качеству готовых изделий. При изготовлении высокоточных изделий требуется их большая размерная точность и высокое качество поверхности, в связи с этим возрастают требования к качеству внутренней поверхности изготавливаемых форм.

Литературно-патентный анализ показывает, что преобладающее влияние на процесс образования брака в ЛВМ оказывают технология изготовления и процесс удаления моделей из оболочковых форм (ОФ). Основной причиной, приводящей к образованию брака моделей,

ОФ, а следовательно, и отливок, является несовершенство технологии изготовления выплавляемых моделей. В ЛВМ наибольшее применение для получения выплавляемых моделей в нашей стране и за рубежом получили воскообразные составы на основе парафина, церезина и стеарина.

Но, как показывает анализ технологических и механических свойств выплавляемых моделей, изготовленных из вышеуказанных материалов, они имеют невысокую теплостойкость (температура размягчения 35...40 °С) и прочность, а также обладают повышенной плотностью, усадкой (до 20 %) и короблением (см. рис. 1). Повышенная плотность оказывает влияние на увеличение коэффициента объемного расширения при выплавлении моделей, что вызывает растрескивание ОФ. Усадка и коробление моделей при остывании модельного состава в пресс-формах влияет на размерную точность моделей и тем самым снижает размерно-геометрическую точность рабочей поверхности ОФ и отливок.

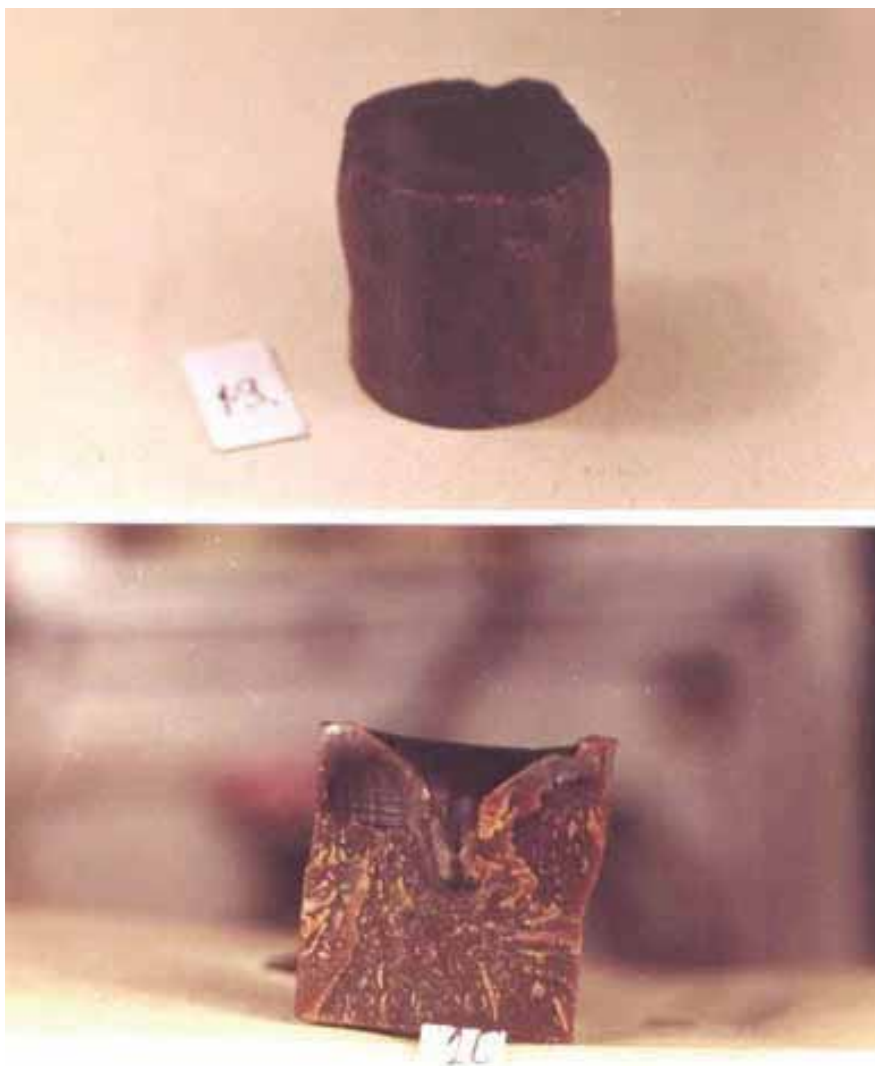


Рис. 1. Модели, полученные заливкой расплавленного состава в пресс-форму

Практика изготовления удаляемых моделей в ЛВМ показывает, что, наряду с выплавляемыми, используют и растворимые модельные материалы. Они отличаются более высокой, по сравнению с воскообразными модельными материалами, температурой плавления. Процесс растворения таких моделей не сопровождается объемными изменениями, как при выплавлении воскообразных моделей. Поэтому снижается возможность образования трещин

М.В. Салина, А.И.Евстигнеев

ВЛИЯНИЕ ВАКУУМИРОВАНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И РАЗМЕРНУЮ ТОЧНОСТЬ ВЫПЛАВЛЯЕМЫХ МОДЕЛЕЙ И ОТЛИВОК В ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

ОФ при удалении модели. Но растворимые модельные материалы очень гигроскопичны, что ограничивает их применение из-за невозможности длительного хранения [3].

Известно также применение комбинированных моделей, полученных при замешивании водорастворимых компонентов в расплав воскообразных материалов. Но изготовление таких моделей приводит к образованию усадочных дефектов (хотя и в меньшей степени, чем при изготовлении воскообразных выплавляемых моделей), а также к нарушению размерно-геометрических параметров [1].

Одним из недостатков метода получения отливок по выплавляемым моделям является длительность технологического процесса. Процесс изготовления моделей из воскообразных составов состоит из многочисленных операций (смешивание воскообразных материалов, расплавление до жидкого состояния, охлаждение до пастообразного состояния, очистка, смазка и нагрев пресс-формы, запрессовка пастообразного модельного состава в пресс-форму, охлаждение модели в пресс-форме). Для снижения плотности в модельный состав также замешивают небольшое (8...12 %) количество воздуха, что еще больше увеличивает длительность изготовления модели [3].

Известные технологии получения различных изделий (деталей машин, приборов и др.) формовкой в порошковой металлургии позволяют изготавливать детали с повышенным качеством поверхности, с высокой размерно-геометрической точностью, без усадочных дефектов [1].

Применение такого метода при изготовлении удаляемых моделей в ЛВМ позволяет получать пористые выплавляемые модели из порошкообразных модельных составов без усадочных дефектов, с заданной плотностью и повышенными размерно-геометрическими параметрами, а также решать проблему растрескивания ОФ при выплавлении моделей. Такие модели просты в изготовлении, длительность процесса получения моделей намного снижается, так как исключаются многие стадии изготовления моделей. Но изготовление удаляемых моделей из порошкообразных составов может быть ограничено из-за снижения их механических свойств. От механических свойств удаляемых моделей зависит их эксплуатационная пригодность, а именно: возможность хранения, а также способность выдерживать динамические нагрузки при транспортировке и при изготовлении ОФ. Механические свойства таких моделей зависят от плотности, величины контактной поверхности и характера контакта между частицами. Также на механические свойства порошкообразных моделей оказывают влияние свойства порошкообразных материалов и технология изготовления.

При получении моделей формованием порошков модельных материалов прочностные свойства моделей, в сравнении с моделями, полученными запрессовкой или заливкой в пресс-форму модельного состава, как правило, снижаются [1].

Длительное хранение пористых моделей может повлиять на изменение плотности и размерно-геометрической точности моделей. При формовании сложных моделей (особенно мелких: для изготовления стоматологических или ювелирных изделий) возможно незаполнение модельным составом поднутрений и сложных поверхностей моделей, это приведет к неточности размеров и конфигурации получаемых отливок.

Таким образом, актуальным является дальнейшее усовершенствование технологии изготовления порошкообразных выплавляемых моделей, которое позволит повысить механические и эксплуатационные свойства, а также размерную точность выплавляемых моделей.

Анализ известных вакуумных технологий изготовления гипсовых и керамических форм, а также отливок в ЛВМ показал преимущества применения вакуумирования, а именно: хорошая заполняемость очень сложных по конфигурации изделий, высокая размерно-геометрическая точность, снижение или отсутствие газовой пористости, высокие физико-механические свойства.



Рис. 2. Пресс-форма для изготовления пористой удаляемой моде-

На основании вышеизложенного предлагается изготавливать пористые выплавляемые модели из порошков воскообразных материалов с использованием вакуумирования перед их запрессовкой в пресс-форму. Для оценки влияния вакуумирования на физико-механические свойства и размерную точность пористых выплавляемых моделей (ПВМ) были проведены исследования плотности, прочности, твердости и размерной точности моделей [2].

Для проведения исследований образцы моделей изготавливались из порошка модельного состава ПС 50-50, фракции 04 холодным прессованием в металлические пресс-формы (см. рис.2). После засыпки модельного состава пресс-формы вакуумировались в вакуумной камере сконструированной установки (см. рис. 3). Давление вакуумирования варьировалось от 0,8 до $0,95 \cdot 10^5$ Па. Изготавливались стандартные образцы для исследования временного

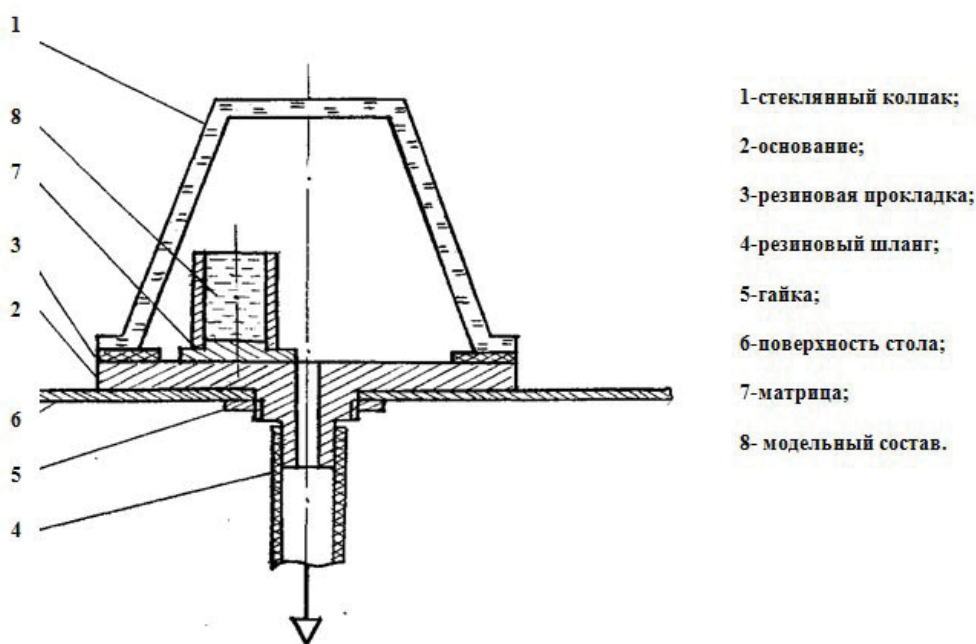


Рис. 3. Схема вакуумной камеры

сопротивления на разрыв, сжатие и изгиб при разных технологических условиях:

- при одинаковой насыпной массе модельного состава и разных усилиях прессования (820...1200 Н);
- при одинаковой насыпной массе и одинаковом усилии прессования (1500 Н);
- с подсыпкой модельного порошка после вакуумирования и при одинаковом усилии прессования (1200 Н).

После изготовления образцов измерялись их геометрические размеры, исследовались плотность, твердость и временное сопротивление на сжатие, растяжение и изгиб.

При анализе всех результатов исследования было установлено, что ПВМ, изготовленные с вакуумированием, имеют удовлетворительную плотность от 0,8 до 0,9 кг/м³ и с течением времени плотность существенно не изменяется. У невакуумируемых моделей плотность по истечении суток (24 ч) снижалась на 5...7 %.

Прочность ПВМ зависит от объема модели, усилия прессования и массы модельного порошка. Наибольшей прочностью обладают модели, исследуемые на изгиб. Но, как показали исследования прочности различных видов моделей, при воздействии вакуумирования прочность моделей увеличивается на 5...10 %.

Результаты исследования размерной точности показали, что на точность моделей оказывают влияние усилие прессования и конфигурация моделей. При воздействии вакуумирования и соблюдении режима изготовления точность пористых моделей повышается до 5...7 %. Результаты исследования размерной точности ПВМ, полученных при воздействии вакуумирования 0,85·10⁵ Па и при усилии прессования 1200 Н, представлены в табл. 1.

После проведения исследований была получена опытная партия ПВМ по предложенной вакуумной технологии для отливок «Втулка», изготовленных методом ЛВМ. Полученные модели просты в изготовлении, обладают высокой размерной точностью и чистотой поверхности, удовлетворительной плотностью и прочностью, отличаются отсутствием усадки и коробления (см. рис. 4). Использование представленного способа изготовления выплавляемых моделей снижает трудоемкость и длительность изготовления моделей и отливок методом ЛВМ.

Таблица 1

Результаты исследований размерной точности ПВМ, полученных без вакуумирования и с вакуумированием модельного порошка и отливок

Объекты исследования	<i>D</i> , мм	<i>d</i> , мм	<i>b</i> , мм	<i>H</i> , мм	<i>h</i> , мм	<i>l</i> , мм
Размеры рабочей полости пресс-формы	12,5	12,05	7,9	7,9	2,0	3,0
Модель вакуумированная 1	12,7	12,2	8,0	8,1	2,1	3,0
Модель вакуумированная 2	12,8	12,2	8,0	8,2	2,2	3,0
Модель вакуумированная 3	12,7	12,2	8,0	8,3	2,1	3,0
Среднее значение размера	12,7	12,2	8,0	8,2	2,13	3,0
Модель невакуумированная 1	12,8	12,3	8,1	8,3	2,2	3,0
Модель невакуумированная 2	12,8	12,35	8,0	8,5	2,35	3,0
Модель невакуумированная 3	12,8	12,35	8,0	8,2	2,3	3,0
Среднее значение размера	12,8	12,32	8,0	8,33	2,3	3,0
Пустотелая отливка с вакуумированием	12,5	12,1	8,0	8,0	2,0	3,0
Отливка, полученная свободной заливкой	12,7	12,3	8,2	8,3	2,2	3,0



Рис. 4. Модели, полученные прессованием порошкообразного модельного состава с предварительным вакуумированием

Таким образом, изготовление пористых выплавляемых моделей холодным прессованием в пресс-формах с предварительным вакуумированием при давлении от 0,8 до $0,95 \cdot 10^5$ Па и усилию прессования от 1200 до 1500 Н можно рекомендовать для применения в ЛВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жилин, С. Г. Управление структурой и свойствами пористых комбинированных удаляемых моделей: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Жилин Сергей Геннадьевич – Комсомольск-на-Амуре, 2002. – 19 с.
2. Салина, М. В. Комплексное исследование влияния вакуумирования на размерно-геометрическую точность и физико-механические свойства моделей и оболочковых форм с целью получения качественных точных отливок в литье по выплавляемым моделям: дисс. ... канд. техн. наук / Салина Марина Владимировна. – Комсомольск-на-Амуре, 2005. – 200 с.
3. Шкленник, Я. И. Литье по выплавляемым моделям. / Я. И. Шкленник, В. А. Озеров. – М. : Машиностроение, 1984. – 408 с.

Свиридов А. В.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБОЛОЧКОВЫХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОФОРЕЗА

Свиридов А. В.

A.V.Sviridov

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБОЛОЧКОВЫХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОФОРЕЗА

MANUFACTURE OF SHELL MOULDS BY ELECTROPHORESIS



Свиридов Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технология литейного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета.

Mr. Andrey V. Sviridov – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of "Foundry industrial machinery and technology", Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur).

Аннотация. В статье приводится краткое описание процесса изготовления литейных форм методом электрофореза, некоторые результаты экспериментальных данных разработки флоретических суспензий с использованием полимеров.

Summary. The paper offers a concise description of a method for shell moulds production by way of electrophoresis; presented are experimental data on producing phoretic suspensions using polymer materials.

Ключевые слова: оболочковая форма, электрофорез, электрофоретическая суспензия, литейная форма.

Key words: shell mould, electrophoresis, electrophoretic suspension, foundry mould.

УДК 621.74.045

В современном машиностроении широко применяется способ литья по удаляемым моделям. Это объясняется тем, что данный вид литья имеет ряд преимуществ перед остальными. Он позволяет получать отливки практически из любых сплавов, объединять несколько деталей в одну для улучшения конструкции и технологичности изделия, получать отливки, максимально приближенные по своим геометрическим размерам к готовым деталям.

Сущность метода заключается в том, что оболочковую форму (ОФ) изготавливают послойно, путем смачивания модельного блока огнеупорной суспензией, содержащей гидролизированный раствор этилсиликата и маршаллит, и обсыпкой кварцевым песком. При этом каждый слой, которых обычно 5 – 8, сушат несколько часов и после удаления модели из сформированной таким образом оболочки (выплавление, выжигание, растворение) и ее прокаливанию, получают литейную форму. На рис. 1, а приведен образец ОФ в разрезе при послойном ее изготовлении.

Недостатки описанного способа литья следующие: для приготовления связующего на основе этилсиликата используют дорогостоящие вещества (спирт, растворители, кислоты и т.п.), а литейная форма обладает низкой трещиностойкостью и размерной точностью, так как является многослойной; длительность технологического процесса изготовления ОФ составляет 10 – 12 ч и более.

а)



б)



Рис. 1. Структура оболочковых форм: а – форма, полученная по традиционной технологии; б – форма, полученная электрофорезом

В данном случае высокая трудоемкость метода и стоимость готовых изделий, с одной стороны, и потребности современного машиностроения в точных деталях сложной конфигурации без излишних затрат – с другой, предопределяют развитие прогрессивных способов и технологических процессов литья, направленных на получение качественных отливок [1].

Одним из наиболее перспективных является метод электрофоретического формообразования, особенностью которого является то, что ОФ формируют не послойным нанесением огнеупорных материалов, а изготавливают в течение 2 – 3 мин посредством электрофоретического перемещения частиц огнеупорного наполнителя к модельному блоку.

Получение ОФ для точного литья с помощью электрофореза сокращает и в ряде случаев полностью исключает применение дорогостоящего этилсиликата, а монослойность электрофоретического осадка обеспечивает равномерное распределение физико-механических свойств по сечению формы. На рис. 1, б приведен образец ОФ в разрезе, изготовленный методом электрофореза.

Наряду с достоинствами традиционного литья по удаляемым моделям, изготовление ОФ методом электрофореза позволит автоматизировать технологический процесс и даст возможность применять недефицитные материалы. Также появляется возможность использовать огнеупорные материалы практически любого минералогического состава.

Получение огнеупорных оболочек электрофорезом в литейном производстве – известный способ. Данный метод был предложен коллективом ученых под руководством профессора И. В. Рыжкова. В нашей стране он впервые был внедрен в производство на Харьковском тракторном заводе и показал свою состоятельность. Основная масса исследований и публикаций, посвященных вопросу электрофоретического формообразования, приходится на 70 – 80-е гг. прошлого века. В этот период были разработаны и изучены различные составы токопроводящих и форетических суспензий, разные способы получения форетических осадков, а также спроектирован ряд приспособлений и устройств для получения ОФ методом электрофореза.

Сущность способа изготовления керамических форм методом электрофореза заключается в следующем: удаляемую модель (анод), с предварительно нанесенным на нее токопроводящим слоем, помещают в специальный электролизер (катод), наполненный форетической суспензией. Отрицательно заряженные частицы дисперсной фазы форетической суспензии перемещаются к модельному блоку и образуют плотный и прочный осадок (оболочку) толщиной 5 – 8 мм (см. рис. 2). Далее полученную ОФ сушат известными способами, удаляют модель и прокаливают.

Токопроводящее покрытие обычно состоит из огнеупорного наполнителя, водных растворов сильных электролитов (кислоты, щелочи), связующего и других добавок.

Основными компонентами форетических суспензий часто являются: дисперсионная среда, огнеупорный наполнитель, стабилизирующие добавки, потенциалобразующие электролиты [2].

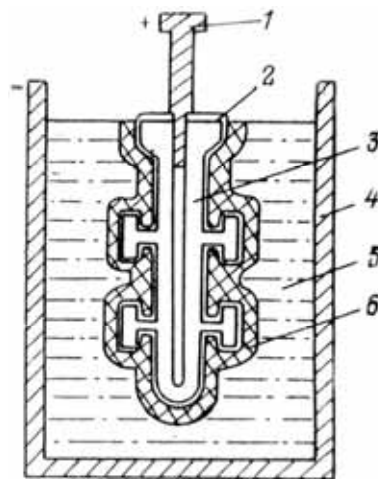


Рис. 2. Схема электрофоретического формообразования: 1 – положительный электрод; 2 – токопроводящий слой; 3 – удаляемая модель; 4 – электролизер; 5 – форетическая суспензия; 6 – формируемая оболочка

При изготовлении ОФ методом электрофореза исследователи сталкиваются со многими трудностями, главные из которых – это разработка седиментационно-устойчивых суспензий с использованием различных огнеупорных материалов, создание токопроводящих слоев с минимальным удельным электрическим сопротивлением, определение режимов сушки оболочек и выявление оптимальных технологических параметров ведения процесса (напряжение, плотность тока, время формирования осадка).

Форетическая суспензия для получения ОФ методом электрофореза является грубодисперсной гетерогенной системой, главное отличие которой от коллоидной системы заключается в том, что минимальный размер дисперсной фазы много больше размера самой крупной коллоидной частицы. Также отличительным признаком электрофоретической суспензии от коллоидной системы является ее кинетическая неустойчивость. Тем не менее, грубодисперсная форетическая суспензия имеет ряд признаков, сближающих ее с коллоидными растворами. Так же как и коллоидные растворы, суспензия является гетерогенной системой, обладающей значительным запасом свободной поверхностной энергии. Для перехода форетической суспензии в устойчивое состояние должно произойти уменьшение запаса свободной поверхностной энергии, что осуществляется в результате адсорбции веществ, понижающих поверхностное натяжение на границе раздела между частицами суспензии и дисперсионной средой [3].

Согласно [3], добавление высокомолекулярных соединений к коллоидным растворам значительно повышает их седиментационную устойчивость. Стабилизирующее действие высокомолекулярных соединений проявляется лишь при определенной их концентрации в растворе. Эта концентрация должна быть достаточной для образования пространственной структуры, охватывающей весь объем системы или отдельные ее участки. Коллоидные частицы участвуют в образовании этой структуры, поскольку они взаимодействуют с отдельными звеньями макромолекул. Находящиеся в структурной сетке коллоидные частицы лишены возможности поступательного движения, что препятствует их сближению и соединению в агрегаты, т.е. препятствует коагуляции.

При добавлении к коллоидному раствору полимера в количестве, недостаточном для образования пространственной структуры, наблюдается, как правило, не повышение агрегативной устойчивости коллоидной системы, а ее понижение. Это явление может быть объяснено тем, что в растворе образуются отдельные агрегаты, каждый из которых содержит несколько коллоидных частиц, адсорбционно связанных макромолекулой. Система, состоящая из указанных агрегатов, будет менее устойчива, чем система, содержащая отдельные коллоидные частицы [3].

На основании вышеизложенного исследованию были подвергнуты электрофоретические суспензии с использованием поливинилового спирта (ПВС), метилцеллюлозы (МЦ) и натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (NaКМЦ), т.е. водорастворимых полимеров.

В ходе исследований было выявлено, что, в отличие от других соединений, полимер, содержащий карбоксильные группы, не только повышает седиментационную устойчивость суспензий, но и является потенциалобразующим компонентом. Экспериментально были выявлены интервалы допустимой концентрации растворов полимеров в электрофоретических суспензиях. Необходимой седиментационной устойчивостью обладают составы, содержащие в качестве стабилизирующих добавок не менее: 0,08 % ПВС, 0,05 % МЦ или 0,15 % NaКМЦ от массы суспензий [4, 5].

Для изученных форетических суспензий характерно то, что значение ζ (потенциала) определяется в основном концентрацией электролита и мало зависит от содержания в суспензиях полимеров, кроме смеси с применением NaКМЦ, которая выступает в роли электролита. Таким образом, основная цель ввода в суспензию полимеров – это повышение ее седиментационной устойчивости.

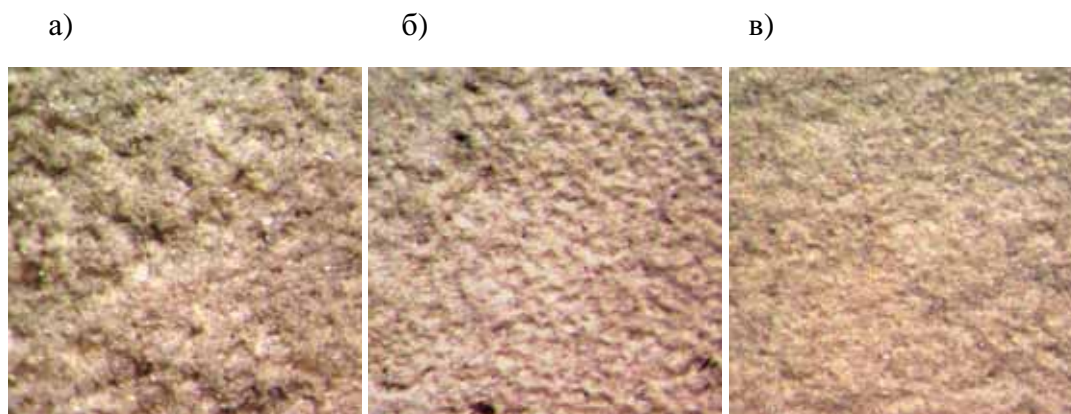


Рис. 3. Структура электрофоретических осадков:
а – 60 В; б – 80 В; в – 100 В

Разность потенциалов определяет интенсивность электрофоретического формообразования, но чрезмерное ее увеличение приводит к повышению газообразования на аноде из-за интенсификации электролиза воды, что мешает формированию осадка.

Было установлено, что структура форетического осадка во многом зависит от напряжения при электрофорезе. На рис. 3 представлены структуры образцов оболочек, полученных при разности потенциалов 60, 80 и 100 В. Как видно, образец, сформированный при напряжении 100 В (см. рис. 3, в), имеет более плотную упаковку огнеупорного наполнителя и соответственно более высокие физико-механические характеристики, по сравнению с образцами, полученными при напряжениях 60 и 80 В (см. рис. 3, а и б).

Приведенные экспериментальные данные наглядно показывают, что разность потенциалов при электрофоретическом формообразовании является эффективным средством, позволяющим управлять физико-механическими свойствами оболочек.

Технологичность процесса электрофореза во многом зависит от используемого оборудования (устройств перемешивания, съема оболочек и т.д.), позволяющего автоматизировать отдельные операции.

Например, устройство, приведенное на рис. 4, позволяет контролировать вес ОФ в процессе ее изготовления. В данной конструкции устройство контроля веса 3 крепится к подвеске 4, а электрофоретическую суспензию заливают в электролизер 1. Далее модель 2 подвешивают к устройству 3 и опускают в электролизер.

Как видно из рисунка, положительный потенциал к модели подводится через размыкающий ключ К, в качестве которого может быть использовано любое изделие, срабатывающее от электрического сигнала (контактор, реле, тиристор и т.п.). Узел управления ключом 5 следит за изменением массы модели с оболочкой.

В ходе электрофоретического осаждения масса формирующейся оболочки растет, и при достижении требуемого значения происходит автоматический разрыв цепи ключом К и, следовательно, прекращение процесса форетического осаждения [6]

На основе проведенных исследований методом электрофореза были изготовлены экспериментальные оболочковые литейные формы и отливки (см. рис. 5 и 6). При этом применяли разработанные электрофоретические суспензии на основе кварцевого песка с полимерными стабилизаторами. Токопроводный слой содержал водные растворы щелочи и жидкого стекла, а в качестве огнеупорного наполнителя – маршалит. Напряжение процесса составляло 70 вольт, а длительность формирования оболочки 2 мин. Толщина сформированного покрытия равнялась 6 – 7 мм, а прочность при статическом изгибе находилась в интервале 4,7 – 5 МПа.

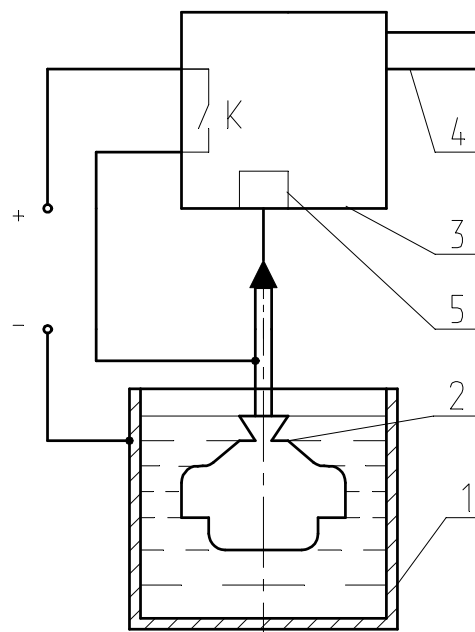


Рис. 4. Устройство для автоматического контроля веса электрофоретической оболочки



Рис. 5. Оболочковые формы, изготовленные методом электрофореза



Рис. 6. Отливка из сплава 45Л

Сокращение длительности технологического цикла изготовления ОФ при повышении их качества и использование дешевых материалов, а также упрощение в целом производства отливок данным способом будет способствовать более широкому применению метода электрофореза в литейном производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыжков, И. В. Электрофорез в литейном производстве / И. В. Рыжков, В. Д. Пепенко, [и др.] // Литейное производство. – 1977. – №11. – С. 30-31.
2. Рыжков, И. В. Электрофорез в литейном производстве: Изготовление оболочковых форм по выплавляемым моделям / И. В. Рыжков. – Харьков: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1979. – 160с.
3. Медведев, П. И. Физическая и коллоидная химия / П. И. Медведев; под ред. С. А. Балезина. – М. : 1954.
4. Пат. 2316406 Российская Федерация, МПК В22С 1/02. Суспензия для получения керамических форм методом электрофореза / Петров В. В., Дмитриев Э. А., Свиридов А. В.; заявитель и патентообладатель ГОУВПО “КНАГТУ”. – № 2005134840/02; заявл. 09.11.2005; опубл. 10.02.2008, Бюл. № 32. – 4 с.
5. Пат. 2298448 Российская Федерация, МПК В22С 1/02. Суспензия для получения форм точного литья методом электрофореза / Петров В. В., Дмитриев Э. А., Свиридов А. В.; заявитель и патентообладатель ГОУВПО “КНАГТУ”. – № 2006122245/02; заявл. 21.06.2006; опубл. 10.05.2007, Бюл. № 13. – 3 с.
6. Пат. 2289491 Российская Федерация, МПК В22С 9/04. Устройство для изготовления керамических форм / Якимов В. И., Петров В. В., Дмитриев Э. А., Свиридов А. В. и др.; заявитель и патентообладатель ОАО “КНААПО”. – № 2004137576/02; заявл. 22.12.2004; опубл. 20.12.2006, Бюл. № 35. – 4 с.

Марьин Б.Н., Грачева О.А., Сысоев О.Е., Макаров К.А., Марьин С.Б., Гаряев Р.Ф., Шпилев А.М., Шпорт В.И. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ И ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ПОСРЕДСТВОМ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

Марьин Б.Н., Грачева О.А., Сысоев О.Е., Макаров К.А., Марьин С.Б., Гаряев Р.Ф., Шпилев А.М., Шпорт В.И.

V.N.Maryin, O.A.Gracheva, O.E.Sysoyev, K.A.Makarov, S.B.Maryin, R.F.Garyayev, A.M.Shpilev, V.I.Shport

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ И ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ПОСРЕДСТВОМ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

MANUFACTURING COMPONENT PARTS FROM SHEET AND TUBULAR BILLETS BY MEANS OF FREEZING WATER

Марьин Борис Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры МТЛП Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. maryinsb@mail.ru

Mr. Boris N. Maryin – Doctor of Engineering, Professor, Department of Foundry Industrial Machinery/Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). maryinsb@mail.ru

Грачева Ольга Александровна – аспирантка кафедры Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Ms. Olga A.Gracheva – Head of Laboratory at the Department of Foundry Industrial Machinery/Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur).

Сысоев Олег Евгеньевич – кандидат технических наук, профессор, декан ФКС Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Mr. Oleg E. Sysoyev, Professor, PhD in Engineering, Department of Cadastre and Civil Engineering

Макаров Константин Анатольевич – доктор технических наук, профессор, начальник управления «ОАО «Сухой»

Mr. Konstantin A. Makarov – Doctor of Engineering, Professor, Head of Department at the OJSC Sukhoy

Марьин Сергей Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры МТЛП Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, maryinsb@mail.ru

Sergey B.Maryin – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Foundry Industrial Machinery/Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). maryinsb@mail.ru

Гаряев Руслан Фасхатович – студент Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Mr.Ruslan F. Garyayev – 1st Class Technician, Department of Foundry Industrial Machinery/Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur).

Шпилев Анатолий Михайлович – доктор технических наук, профессор, ректор Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Mr. Anatoly M. Shpilev – Doctor of Engineering, Professor, Rector of the Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur).

Шпорт Вячеслав Иванович – доктор технических наук, профессор, губернатор Хабаровского края

Mr. Vyacheslav I. Shport – Doctor of Engineering, Governor of the Khabarovsk Region



Аннотация. Рассмотрены возможности формообразования листовых и трубных заготовок за счет фазового перехода воды в лед.

Summary. The paper considers the feasibility of tubular/sheet billet forming by way of «water – ice» phase transformation.

Ключевые слова: формообразование заготовок; фазовый переход воды в лед, формовка и отбортовка листовых заготовок, раздача трубы.

Key words: billet forming, phase transformation «water – ice»; forming and flanging sheet billets, expanding of pipes.

УДК 621.983.7.001.573

Важной проблемой в авиастроении является производство тонкостенных деталей из листов, профилей и труб.

В механике сплошной среды при анализе напряженного состояния одним из основных по форме тел является тетраэдр.

Для получения льда исходной средой является вода, в которой молекула воды представляет собой маленький диполь с положительным и отрицательным зарядами на полюсах. Так как масса и заряд ядра кислорода больше, чем у ядер водорода, то электронное облако стягивается в сторону кислородного ядра. При этом ядра водорода “оголяются”. Таким образом, электронное облако имеет неоднородную плотность. Около ядер водорода имеется недостаток электронной плотности, а на противоположной стороне молекулы, около ядра кислорода, наблюдается избыток электронной плотности. Именно такая структура и определяет полярность молекулы воды. Если соединить прямыми линиями эпицентры положительных и отрицательных зарядов, то получится объемная геометрическая фигура – правильный тетраэдр. С давних пор известно, что вода неоднородна по своему составу, что лёд плавает на поверхности воды, то есть плотность кристаллического льда меньше, чем плотность жидкости. Почти у всех остальных веществ кристалл плотнее жидкой фазы. К тому же и после плавления при повышении температуры плотность воды продолжает увеличиваться и достигает максимума при 4 °С.

Низкотемпературный фазовый переход из жидкого состояния вещества (вода) в твердое (лед) позволяет решать ряд сложных технических задач. При замораживании воды в закрытых сосудах за счет изменения ее плотности можно создавать в них высокие и сверхвысокие давления, осуществляя на этой основе различные технологические процессы, например, листовую штамповку, гидроэкструзию металлов, прессование порошковых материалов и т.д.

Общеизвестный факт, что вода при замерзании расширяется, можно использовать при штамповке деталей. На контейнер, заполняемый водой, устанавливают лист металла, сверху закрепляют матрицу установленной формы. Всю конструкцию замораживают, вода превращается в лед, который, расширяясь, выдавливает металл в матрицу, как мощный поршень. Данная технология очень проста и пригодна для формообразования деталей самых разнообразных габаритов и конструктивно-геометрических форм из различных сталей и сплавов. Может использоваться взамен технологии штамповки деталей эластичными средами, что позволит значительно снизить затраты на изготовление дорогостоящих рабочих инструментов, которые в процессе штамповки быстро изнашиваются.

Условие достаточного усилия деформирования

При 4 °С вода имеет самую высокую плотность, именно при этой температуре целесообразно заполнение рабочей полости. При замерзании вода увеличивает свой объём на

10 %, следовательно, чтобы усилие деформирования было достаточным, объём полости матрицы V_m не должен превышать 10 % от объёма рабочей камеры $V_{p.k.}$:

$$V_m = 0,1V_{p.k.}$$

Вместо рабочего тела из эластичных материалов возможно использовать обычную воду при ее замораживании, так как при понижении температуры от 0 °С до -20 °С лед максимально расширяется. Таким образом, природную энергию расширения льда при его охлаждении можно использовать для деформирования заготовок, не пользуясь традиционными технологиями и приспособлениями, что позволит снизить себестоимость продукции на 20 – 25 %.

Эксперимент 1. Формовка листовой заготовки.

На рис. 1 показан штамп, который состоит из крышки 1 с рабочей полостью и контейнера 2. В крышке имеется полость для установки сменной матрицы 3. Прижим крышкой края листовой заготовки препятствует образованию гофров со стороны торца.

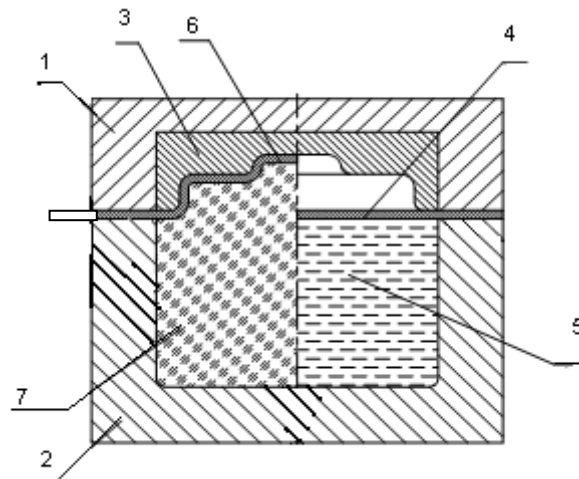


Рис. 1. Штамп для деформирования льдом листовой заготовки

Принцип действия:

В крышке 1 устанавливается матрица 3. Поверхность матрицы смазывается. Рабочая полость наполняется водой 5. На контейнере штампа располагается листовая заготовка 4. Затем на контейнере 2 крепится крышка штампа 1. Собранный и наполненный водой штамп помещается в морозильную камеру или в холодную среду. При фазовом переходе воды в твёрдое состояние (лёд 7) объём твёрдой фазы увеличивается, за счёт чего происходит деформация листовой заготовки в деталь 6.

Эксперимент 2. Отбортовка отверстий в листовой заготовке.

На рис. 2 изображено устройство для отбортовки отверстия в листовой заготовке.

Устройство состоит из крышки 1 и контейнера 2. В крышке имеется полость для установки сменной матрицы 3. Прижим крышкой края листовой заготовки препятствует образованию гофров со стороны торца.

Принцип действия:

Контейнер 2 заполняется водой 4, затем сверху устанавливается листовая заготовка 5 с предварительно просеченным отверстием. После чего крышка 1 с матрицей 3 монтируется на контейнер. Рабочая среда охлаждается и образующийся при этом лёд 6 производит отбортовку фланца.

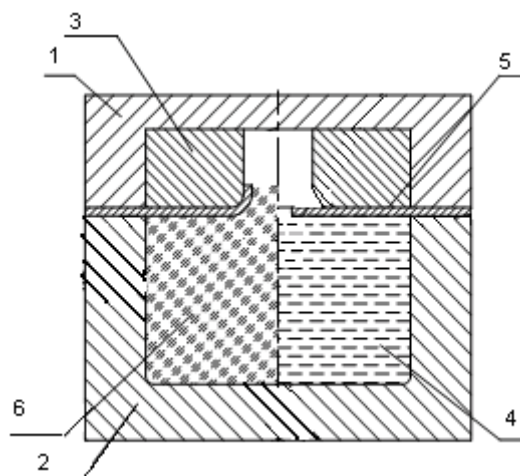


Рис. 2. Устройство для отбортовки отверстий в листовой заготовке

Эксперимент 3. Раздача трубной заготовки.

Предлагаемый штамп (рис. 3) состоит из разъемной матрицы 1, установленной в жестком корпусе, состоящем из плиты основания 2, наружной обоймы 3, пуансона 4. В матрице 1 размещена трубчатая заготовка 5, внутри которой находится рабочее тело 6, выполненное из стержня льда.

Штамп работает следующим образом. В подготовленную матрицу 1 вставляют трубчатую заготовку 5, внутри которой размещено рабочее тело 6, выполненное из ледяного стержня. Посредством перемещения ползуна пресса с усилием P (на рис 3 не показан) перемещается пуансон 4. От пуансона 4 усилие P передается через рабочее тело в зону деформирования трубчатой заготовки, в результате чего происходит раздача трубы. Затем пуансон 4 поднимают вверх, производят разборку матрицы 1 и выемку готовой детали с рабочим телом 6, которое впоследствии растаивает за счет положительной температуры рабочего помещения. В результате решается поставленная задача.

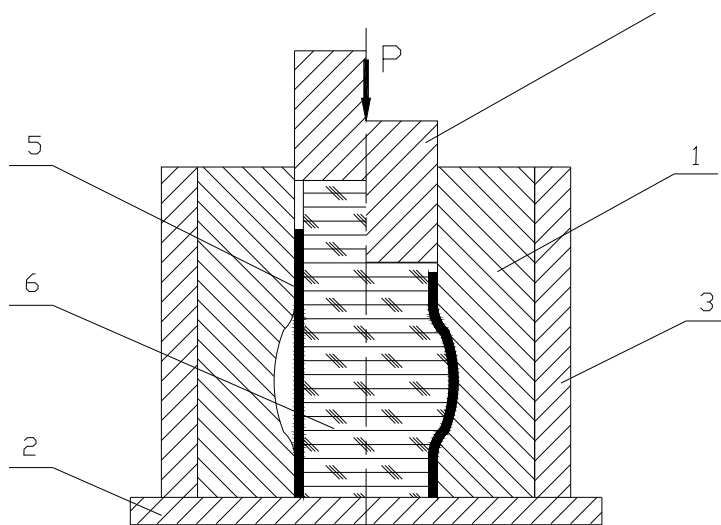


Рис. 3. Штамп для раздачи трубной заготовки

Для исследования возможностей рассмотренной технологии, т.е. использования энергии расширения льда при его охлаждении с целью формоизменения листовых заготовок, была изготовлена технологическая оснастка, показанная на рис. 4, которую можно использовать при изготовлении деталей различных форм и размеров.

а)



б)



Рис. 4. Технологическая оснастка для деформирования заготовок льдом:
а – листовых; б – трубчатых

Работоспособность нового подхода продемонстрирована на рис. 5, где представлен результат деформирования листовой заготовки с помощью предложенной технологии.

а)



б)



Рис. 5. Опытный образец, изготовленный по разработанной технологии:
а – чашка; б – муфта

Выполненная работа показала целесообразность проведения дальнейших экспериментально-теоретических исследований в разработке рассмотренных энерго- и ресурсосберегающих технологий в области машиностроения при формоизменении заготовок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Массару Эмото. Послания воды: «Тайные коды кристаллов льда. Перев. С англ. М.ООО Издательский дом «София». 2005.
2. Пат. РФ № 95571 U1. Штамп для формовки листовых заготовок / Б. Н. Марьин, В.И. Шпорт, А.И. Евстигнеев, В.Н. Быченко, К.В. Волков, С.Б. Марьин. опубл. 10.07.2010 Бюл. №19.
3. Пат. РФ № 96801 U1. Рабочее тело для передачи усилия при раздаче полых и трубчатых заготовок / С.Б. Марьин, Б. Н. Марьин, В.М. Козин, В.И. Шпорт опубл. 20.08.2010 Бюл. №23.

Овчинников И. Д.
I.D.Ovchinnikov

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В СУДОСТРОЕНИИ

QUALITY MANAGEMENT IN SHIPBUILDING

Овчинников Игорь Дмитриевич – инженер-кораблестроитель, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Кораблестроение» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Mr. Igor D. Ovchinnikov – PhD in Engineering, Marine Architect, Associate Professor, Department of Shipbuilding Technology of the Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur)

Аннотация. В статье рассмотрен комплекс вопросов, связанных с построением и работой системы управления качеством на судостроительном предприятии. Исследована роль, место и значение системы управления качеством на предприятии. На основе многолетнего производственного опыта приведены рекомендации по составу системы, ее документированию и методике разработки. Работа системы управления качеством иллюстрирована реальными производственными примерами. В кратких выводах сформулированы рекомендации для достижения и поддержания требуемого уровня качества на судостроительном предприятии.

Summary. The paper deals with problems connected to organization of and running a quality management system at a shipbuilding plant. The role, place and importance of a quality management system are investigated. Recommendations for system composition, documentation and development methods, based on many years of experience, are given. A quality management system operation is illustrated by real-life examples. Recommendations for achieving and maintaining a necessary level of production quality at a shipbuilding enterprise are presented in conclusion.

Ключевые слова: качество, судостроение, судостроительное предприятие, система управления качеством.

Key word: quality, shipbuilding, shipbuilding plant, quality management system.

УДК 62

1. Система управления качеством в системе управления предприятия

Под качеством принято понимать «совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности» [5]. Даже при наличии современного оборудования, технической и технологической документации, соответствующей всем требованиям ЕСКД и ЕСТПП нет гарантии, что построенное судно будет качественным. Само по себе качество не возникнет, необходима целенаправленная деятельность для выполнения требований к качеству, ориентированная на устранение причин несоответствий этим требованиям. Для достижения экономической эффективности необходимо систематическое воздействие на производственные и обслуживающие производственные процессы, на устранение причин, мешающих получить требуемый уровень качества. Иными словами, чтобы обеспечить качество, необходимо управлять факторами, от которых оно зависит.

Система управления предприятия как любая система состоит из элементов и связей между ними. Элементами системы управления являются подразделения предприятия, находящиеся между собой в определенном соотношении, называемом структурная схема системы управления. Связи системы управления, представляющие собой информационные потоки,

документированы нормативными документами различного уровня, имеющими в основе действующее законодательство и закономерности управления.

Известно, что система управления предприятия состоит из подсистем [1] (см. рис. 1), каждая из которых принадлежит определенному направлению работы предприятия. В основу разделения на подсистемы, начавшегося в 1960-х гг., положены стремление упорядочить управленческие функции и использование в управлении современным предприятием различных областей знаний. В то же время результаты исследований в области систем и системного анализа [3] представили для этой цели разработчикам систем управления предприятия инструмент в виде категорийного аппарата и общих закономерностей существования и развития систем.



Рис. 1. Типовой состав подсистем системы управления предприятия

Использование общих баз данных в системах управления предприятия обеспечивает оперативность принятия решений, снижает их трудоемкость и повышает их качество за счет полноты и достоверности информации. При разработке, совершенствовании системы управления предприятия не следует отождествлять ее с системой управления качеством и наоборот. В конце 1970-х и начале 1980-х гг. редкое предприятие сумело избежать этой ошибки. Эта ошибка дорого стоила, так как длительное время мешала совершенствовать систему управления на предприятиях. Негативное влияние этой ошибки продолжает сказываться и до сих пор.

Дело в том, что система управления качеством всего лишь часть системы управления предприятия, ее подсистема. Ее взаимодействие с другими подсистемами управления предприятия можно понять, представив всю систему управления в виде некоей раскрытой «книги», у которой корешок являет собой систему качества [5]. Каждая же страница «книги» представляет собой одну из подсистем управления предприятия (см. рис. 2).

При этом нижний абзац каждой страницы, то есть подсистемы, должен содержать основные элементы управления качеством, такие как: идентификация, прослеживаемость и пр., и служить основой для построения каждой конкретной подсистемы управления предприятия.

Понимание персоналом, особенно руководителями, такого взаимодействия существенно упрощает построение или совершенствование системы управления предприятия, и, соответственно, системы управления качеством. Ведь, находясь в системе, нельзя исправить систему. Для этого нужна отдельная система [10].

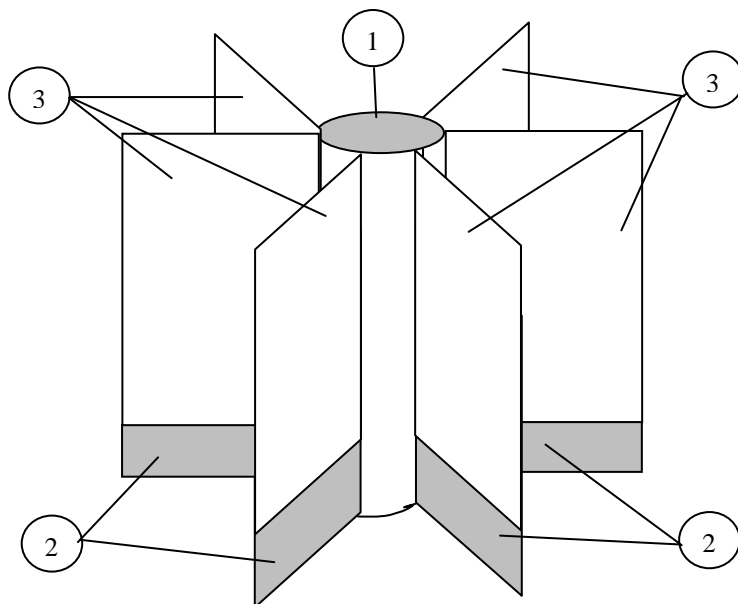


Рис. 2. Взаимодействие системы управления с подсистемой качества:
1 – система качества; 2 – подсистема качества в составе каждой из подсистем;
3 – остальные подсистемы системы управления предприятия

2. Документы системы управления

Разработка международных стандартов качества серии ISO и соответствующих им отечественных стандартов качества оказала серьезное влияние на развитие систем управления предприятиями, в том числе на описание связей в системе управления. Эти стандарты во многом определили состав систем управления качеством на предприятиях. Стандарты серии ISO, устанавливая единый подход к обеспечению качества, создали основу для определения состава, положений и принципов установления связей на различных уровнях в системе управления предприятия. Элементы, которые определены в них, создали взаимосвязанную основу для построения всех подсистем управления предприятия.

Нормативным документам, описывающим процедуры управления, связи между подразделениями предприятия, стали придавать статус стандартов предприятия (СТП) и руководящих документов (РД). Все эти документы разделили на три уровня управления, отнеся к первому уровню – общие описания построения системы управления, ко второму – описание выполнения процедур управления и к третьему – должностные и прочие инструкции.

Использование для нормативных документов, устанавливающих связи между подразделениями предприятия, формы СТП и РД, влечет за собой обязательное выполнение определенных требований, придающих документам полезные свойства.

Во-первых, разрабатываемые СТП и РД необходимо тщательно согласовывать между собой, и механизм такого согласования уже существует, отработан в системе стандартизации.

Во-вторых, каждый СТП или РД должен быть идентифицирован своим уникальным номером, поэтому документы легко учитываются и находимы.

В-третьих, каждый документ имеет отдельно хранимый контрольный экземпляр, обеспечивающий сохранность документа.

В-четвертых, СТП и РД после разработки и утверждения управляются, то есть учитываются все выпущенные экземпляры, устанавливается порядок внесения в них изменений и отслеживается внесение этих изменений во все имеющиеся рабочие экземпляры.

И наконец, в-пятых, документы становятся доступными для персонала, что способствует при его естественной и текущей смене обучению и освоению закрепленных за работниками областей деятельности и ответственности.

Указанные свойства СТП и РД создают основу эффективного управления. При разработке или совершенствовании системы управления качеством, как и всей системы управления предприятия, естественно стремятся к тому, чтобы она обеспечивала принятие качественных решений. Под качеством решения принято [12] понимать:

- соответствие решения цели управления, закономерностям функционирования систем, методам разработки решений и полноте использования имеющейся информации;
- степень учета экономических и технологических возможностей, соответствие решению организационной структуры управления предприятия.

Для обеспечения качества принимаемых решений необходимо описание выполнения управленческих действий на уровне процедур, взаимоувязанных между собой. Требуется определение форм и периодичности представления управленческой информации, маршрутов ее движения, мест и времени хранения, ключей для ее поиска. Итак, связи системы управления предприятия следует определять, используя форму СТП и РД, положения и требования которых обязательны для выполнения персоналом предприятия.

3. Состав системы управления качеством

Система управления качеством должна обеспечивать установленный уровень качества производимой продукции или оказываемых услуг, который позволяет поддерживать конкурентоспособность предприятия. Для удобства разработки систему управления качеством принято разделять на три уровня. В первый уровень системы управления качеством включаются элементы, определяющие политику в области качества всего целиком предприятия. Во втором уровне системы находятся элементы, определяющие процессы, которыми поддерживается требуемый уровень качества. Здесь же разрабатываются, реализуются мероприятия, направленные на улучшение качества. Элементы третьего уровня представляют собой рабочие инструкции, описывающие процессы, обеспечивающие качество.

Состав основной нормативной документации системы управления качеством как одной из подсистем системы управления предприятием представлен в табл. 1. Характеризуя документы, перечисленные в таблице, нужно отметить ряд следующих особенностей.

Политика в области качества представляет собой документ, в сжатой декларативной форме определяющий цели, принципы и методы, которыми предполагается достичь поставленных целей. Хотя этот документ, как правило, имеет объем одну страницу формата А4, разработка его не только крайне сложна и трудоемка, но и чрезвычайно ответственна. По своей сути этот документ определит построение системы и всю ее работу.

От этого документа во многом будет зависеть эффективность работы системы управления качеством. Учитывая важность политики в области качества, для ее разработки целесообразно создать компактную рабочую группу из квалифицированных специалистов (3-4 человека) в основных видах судостроительного производства под руководством заместителя генерального директора по качеству.

При этом следует терпимо относиться к тому, что более-менее приемлемый результат получится только со второй, третьей попытки, а также к тому, что документ придется пересматривать через год, два. Требования стандарта к системе управления качеством рассматривают политику в области качества как составную часть ответственности руководства по качеству. Это обязательное условие, если предприятие собирается выпускать качественную и конкурентоспособную продукцию. Что касается формы, то документ с политикой в области качества целесообразно выпускать отдельно. Так им будет удобнее пользоваться. Рабочую группу в дальнейшем целесообразно использовать в качестве экспертов в работе над улучшениями.

Руководство по качеству базируется на политике в области качества и устанавливает подход к достижению установленного уровня качества. Оно определяет структуру системы, основные связи в ней, а также устанавливает и детализирует принципы, методы обеспечения



качества. Для достижения успеха работа в области управления качеством должна охватывать весь персонал, нацеливая его на удовлетворение установленных, предполагаемых требований заказчиков и получение выгоды для предприятия и общества. Положения и требования руководства по качеству детализируются в документах второго и третьего уровней системы.

Таблица 1

Документация системы управления качеством

№	Вид документа и наименование
1-й уровень	
1.1	Политика в области качества
1.2	СТП ХХХХ-УУУ. Ответственность руководства за качество. Положение
1.3	СТП ХХХХ-УУУ. Руководство по качеству. Положение
2-й уровень	
2.1	СТП ХХХХ-УУУ. Технический контроль качества продукции. Положение
2.2	СТП ХХХХ-УУУ. Летучий контроль производства продукции (предупреждающие действия). Положение
2.3	СТП ХХХХ-УУУ. Входной контроль материалов, полуфабрикатов и комплектующих. Положение
2.4	СТП ХХХХ-УУУ. Идентификация и прослеживаемость. Положение
2.5	СТП ХХХХ-УУУ. Управление записями по качеству. Положение
2.6	СТП ХХХХ-УУУ. Управление несоответствующей продукцией. Положение
2.7	СТП ХХХХ-УУУ. Постоянно-действующие комиссии по качеству. Положение
2.8	СТП ХХХХ-УУУ. Метрологическое обеспечение производства. Положение
2.9	СТП ХХХХ-УУУ. Статистический анализ качества и корректирующие действия. Положение
2.10	СТП ХХХХ-УУУ. Статус контроля и испытаний. Положение
2.11	СТП ХХХХ-УУУ. Обучение персонала. Положение.
2.12	СТП ХХХХ-УУУ. Аудит системы управления качеством. Положение
3-й уровень	
3.1	РД ХХХХ-УУУ. Правила внесения изменений в конструкторскую документацию. Положение
3.2	РД ХХХХ-УУУ. Правила внесения изменений в технологическую документацию. Положение
3.3	РД ХХХХ-УУУ. Замена материалов, комплектующих. Положение
3.4	РД ХХХХ-УУУ. Оценка состояния культуры и безопасности производства в подразделениях. Методика
3.5	РД ХХХХ-УУУ. Периодическая аттестация персонала, выполняющего ответственные и потенциально опасные работы. Инструкция
3.6	РД ХХХХ-УУУ. Оформление разрешения на отступление от конструкторской или технологической документации. Инструкция
3.7	РД ХХХХ-УУУ. Обеспечение производства технологической оснасткой. Инструкция
3.8	РД ХХХХ-УУУ. Учет и анализ брака. Методика
3.9	РД ХХХХ-УУУ. Учет, рассмотрение и анализ рекламатов. Методика.
3.10	РД ХХХХ-УУУ. Учет и хранение документации по качеству. Инструкция
3.11	РД ХХХХ-УУУ. Подготовка и проведение Дня качества. Инструкция
3.12	РД ХХХХ-УУУ. Проверка оборудования на соответствие требованиям и нормам точности. Инструкция
Примечание: ХХХХ – код предприятия; УУУ – идентификационный номер нормативного документа	

Ответственность руководства за качество устанавливает, что руководители предприятия берут не себя обязательства разработать, использовать и постоянно улучшать систему управления качеством. Взятые обязательства должны быть конкретизированы и подкреплены обеспечением необходимыми материальными и денежными ресурсами. Достижение установленного уровня качества является одним из немногих процессов, достижение результата в котором невозможно без участия руководства предприятия и его структурных подразделений. В этом заключается основная специфика разработки, функционирования и совершенствования системы управления качеством на предприятии.

Именно поэтому высшее руководство предприятия должно назначить из своего состава представителя, задача которого должна состоять в обеспечении разработки, поддержании в рабочем состоянии всех процессов, требуемых достижения и поддержания качества. Таким представителем является заместитель генерального директора по качеству, которому подчиняется отдел качества и отдел технического контроля. Он должен информировать высшее руководство о работе системы и мерах, необходимых для ее улучшения, а также заботиться о понимании персоналом значения качества.

Задачи отдела (бюро) качества заключаются в проведении регулярных анализов результативности работы системы, оценки возможностей ее совершенствования. Эта аналитическая работа должна проводиться на основе организации проверки работы системы, поддержании связи с потребителями продукции и услуг предприятия, а также реализуемых рекомендаций по улучшению системы. Отдел качества должен также определять номенклатуру и объем ресурсов, необходимых для эффективной и результативной работы системы управления качеством, согласуя их с соответствующими отделами. Кроме того, отдел должен оценивать эффективность использования ресурсов, направляемых на достижение и поддержание требуемого уровня качества.

Содержание остальных нормативных документов системы управления качеством достаточно четко определяются их названиями. Следует только пояснить одну особенность СТП «Идентификация и прослеживаемость». Дело в том, что материальные карты, по которым цехи получают со складов по требованиям формы М11 или М12 материалы, практически никогда не содержат целого количества листов или профилей. В то же время устанавливать на складах резательные машины не только нецелесообразно из-за их периодической загрузки, но и вредно. Детали при равном весе, а материал получают по весу, могут быть длинными и узкими, поэтому не будут вписываться в заготовку. Это приведет к непроизводительным затратам. Более того, часть деталей, например, кницы с отогнутым фланцем, требуют определенной ориентации относительно волокон листа. Все это не может быть учтено при резке на складе. Как выход из положения, может быть ведение на складах «долговых книг», в которые записывается излишний выданный материал. «Долги» должны погашаться цехами последующими требованиями или возвратом деловых отходов.

Деловые отходы маркируются не только учетным номером и маркой материала, но и номером сертификата и номером листа для высокопрочной стали. Если долг цеха не погашается в течение установленного времени, то склад обязан дать об этом информацию на первый уровень системы управления предприятия. А если же положение дел не меняется, то склад вправе прекратить выдачу материалов этому цеху. Такой порядок, предусмотренный в СТП «Идентификация и прослеживаемость», одновременно решает проблему снабжения цехов материалом и проблему прослеживаемости при изготовлении деталей.

Разработка системы управления качеством, формирование ее элементов и установление связей нужно вести в представлении того, что взаимоотношения между потребителем и производителем происходят в виде процессов. Причем здесь понятия «производитель» и «потребитель» имеют более широкий смысл, от предприятия и его заказчиков до двух рабочих мест, последовательно расположенных в технологической цепочке.

Нисколько ни умаляя значения не одного из процессов, проводимых на предприятии для управления качеством, все-таки наиболее важной для успешной работы системы управ-



ления качеством является обратная связь в составе информационного потока между предприятием и потребителями, другими заинтересованными сторонами. Эта крайне важная информация позволяет на основе анализа проводить кардинальные улучшения, добиваясь требуемого уровня качества и поддерживая его.

4. Работа системы управления качеством

Качество не может являться заботой только производственных цехов и отдела технического контроля. Качество зависит от каждого работника, поэтому должно являться делом всех работающих и каждого в отдельности. Для успешной реализации программы достижения высокого уровня качества требуется внедрение своеобразной идеологии качества. Ее можно сформулировать в виде принципов, среди которых следует выделить такие, как «нет пределу совершенства», «в каждой операции – ноль ошибок», «проблему проще предотвратить, чем ее решать», «совершенствовать систему, а не искать виновников», «потребитель всегда прав». Идеология реализуется не только через наглядную агитацию, но и использование этих принципов в повседневной работе персоналом, особенно руководителями. Необходимость, важность использования принципов подчеркнуто еще в начале прошлого века [14, 303], «является устранение потерь, и именно для этой цели они формируются. В каком именно деле устранять потери – это принципиального значения не имеет».

Работа системы управления качеством представляет собой процесс, модель которого устанавливает стандарт [6] (см. рис. 3). Ключевым элементом системы управления качеством, определяющим эффективность ее работы, являются комиссии по качеству, которые в нашей стране играют роль своеобразных кружков качества. Более того, комиссии по качеству не только ключевой элемент системы, они представляют собой, по сути, механизм приведения качества к требуемому уровню и поддержания этого уровня качества. Комиссии по качеству имеют обычно два уровня (см. табл. 2). Первый и основной уровень – это цеховая комиссия по качеству, которую возглавляет руководитель (начальник) цеха и в которую входят руководитель технического подразделения цеха (бюро технической подготовки производства), руководитель подразделения контролеров в цехе (бюро технического контроля) и один из ведущих технологов. Технолог, который входит в состав комиссии по качеству, одновременно должен вести и оформлять протоколы рассмотрения несоответствий.

Работа цеховых комиссий по качеству как элементов системы определяет эффективность работы всей системы управления качеством. Даже если все остальные элементы системы управления качеством прекрасно организованы и работают, а комиссия по качеству работает скверно, о высоком уровне качества говорить просто не приходится. Целенаправленно и систематически работающая цеховая комиссия по качеству способна исполнять роль не только механизма удержания уровня качества, но и роль механизма повышения качества до требуемого или установленного уровня.

Дело в том, что при анализе состояния качества или конкретного несоответствия именно здесь в одно место и в одно время сходится достоверная информация о качестве конструкторской и технологической документации, состоянии оснастки, инструмента и оборудования, о квалификации персонала, качестве энергии и пр.

Это при определенных условиях позволяет в короткий период времени провести факторный анализ причин *каждого* отклонения от требуемого уровня качества. Выявив причины, разработать комплекс мероприятий, реализация которых исключит повторение ошибки. Рассмотрение на комиссии *каждого* отклонения представляет собой довольно сложный процесс, т.к. он требует в первую очередь от руководителя цеха высокой квалификации, умения организовать работу комиссии так, чтобы все ее члены максимально работали на повышение качества, но не на доказывание своей правоты, и, конечно, терпения, искреннего желания повысить качество. Может показаться, что выполнение таких требований невозможно, но это не так. Все сложности преодолимы, если к достижению требуемого уровня качества стре-

мится и руководство предприятия, понимая при этом, что без хороших помощников, единомышленников в цехах поставленная цель не может быть достигнута.



Условные обозначения:

- Деятельность, добавляющая ценность
- ↔ Поток информации, в т.ч. обратная связь

Рис. 3. Модель системы управления качеством, основанная на процессном подходе

Таблица 2

Комиссии по качеству на предприятии

Уровень	Наименование комиссии	Сфера деятельности и основные задачи
1	Цеховая комиссия	Каждое подразделение (цех, отдел). Выработка корректирующих мероприятий по несоответствиям требуемому уровню качества
2	Заводская комиссия	Предприятие целиком . Выработка корректирующих мероприятий по несоответствиям требуемому уровню качества, общим для всех или группы подразделений предприятия

Качество обладает довольно большой инерцией, которая выражается в жесткой зависимости между уровнем качества и затратами ресурсов на него (см. рис. 4). При низком уровне требуются высокие затраты, в т.ч. времени руководителей, на качество, чтобы повысить его до требуемого уровня. В то же время при повышении уровня качества необходимые затраты для поддержания требуемого уровня качества уменьшаются и стабилизируются на минимальном постоянном уровне.

Соответственно, если постоянно не поддерживать уровень качества ресурсами и работой системы управления качеством, то он понизится. А это приведет к необходимости крупных дополнительных вложений ресурсов, что поднять качество до требуемого уровня.

Хорошо работающая комиссия по качеству, выявив причину несоответствия требуемому уровню качества в конкретном технологическом процессе, проводит анализ и выясняет, как обстоит дело в аналогичных технологических процессах. Казалось бы, это очевидная реакция на несоответствие. Однако на практике все обстоит с точностью до наоборот. Как

правило, рассматривается только тот технологический процесс или, даже технологическая операция, где обнаружены несоответствия. Эту алогичность можно объяснить высоким уровнем нагрузки на руководителя. Изменить же ее могут только фанатики, но этот тип людей встречается крайне редко, или система продуманных мер поощрения за качество.

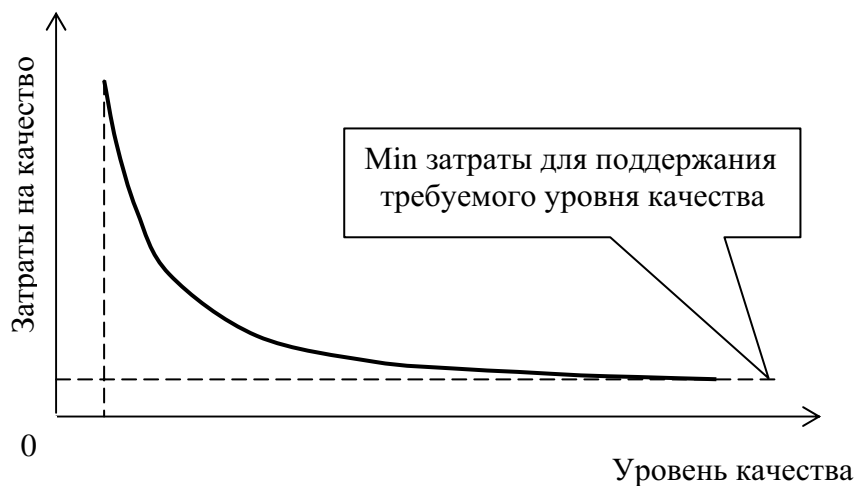


Рис. 4. Взаимозависимость уровня качества и затрат на качество

Производственный опыт работы автора в механосборочном цехе судостроительного завода позволяет дать количественную оценку соотношения интенсивности работы цеховой комиссии по качеству и изменение уровня качества, описываемого количеством выявленных несоответствий требуемому уровню качества. Плановые заседания цеховой комиссии назначались в течение года на каждый второй рабочий день. Каждый случай несоответствия в обязательном порядке рассматривался на заседании комиссии. Если в начале года комиссия по качеству работала через день, а иногда и каждый день, то в конце года интенсивность ее работы начала заметно падать, т.к. существенно (почти на порядок) снизилось количество несоответствий. Изменение количества несоответствий можно считать параметром эффективности работы цеховой комиссии по качеству, а такое изменение – неплохим результатом.

Комиссию уровня 2 возглавляет технический директор (главный инженер) предприятия. В ее состав должны входить руководители технических служб и заместитель руководителя предприятия по качеству. Основная задача комиссии состоит в анализе показателей, выработке стратегии и контроле текущих показателей уровня качества. Разработка конкретных мероприятий для поддержания и повышения уровня качества для нее задача нереальная.

Следует отметить, что в подходе к рассмотрению всех несоответствий необходимо избегать предвзятостей, быть более объективными. В этом аспекте целесообразно придерживаться в каждом случае стандартного единого принципа. Суть его в том, что всегда, рассматривая любое несоответствие, нужно вначале искать причину ошибки в системе, затем в технологии, оборудовании, оснастке и инструменте и лишь в конце – в человеке. Такая последовательность дает высокую степень гарантии того, что причина несоответствия будет выявлена и устранена корректирующими действиями.

Характерным примером такого подхода может служить устранение ошибки в изготовлении вала-распределителя муфты ШМС, заказ на которые получил один из судостроительных заводов по кооперации для экспортных ДЭПЛ. Вал был сделан на 4 мм короче. Анализ несоответствия на цеховой комиссии по качеству показал, что чертеж соответствовал требованиям ЕСКД, по технологическому процессу ранее было изготовлено 15 таких муфт. Токарь, который изготавливал вал, имел высокую квалификацию и двадцатилетний стаж работы. При дальнейшем анализе ошибки было выявлено, что размер на чертеже, определявший длину, проставлен крайне неудачно и трудно читаем. Кроме того, анализ статистики по-

казал, что все валы для ранее изготовленных муфт ШМС сделаны с таким же отклонением от требований чертежа. Причина ошибки во всех случаях была указана как небрежность рабочего, но это несоответствие повторялось на всех 15 валах. Значит, причина была не в рабочем, она оказалась в чертеже и технологическом процессе. Поскольку чертеж формально соответствовал ЕСКД, корректирующие изменения были внесены в технологический процесс. На всех последующих изготовленных валах-распределителях несоответствий уже не было.

Процессный подход к пониманию работы системы управления качеством, представленный на рис. 3, является только необходимым условием успешного построения системы управления качеством, но и необходимым условием ее эффективной работы. Успех во многом зависит от полноты использования комиссиями информации, которая содержится во множестве обратной связи. Для повышения эффективности работы предприятия путем управления затратами целесообразно возложить на комиссии по качеству определение причин отклонения фактических затрат от плановых и, соответственно простановку шифров отклонения в требованиях формы М11 и М12, а также в платежных документах (рабочих нарядах).

Вторым соизмеримым по эффективности инструментом повышения и поддержания уровня качества является профилактика несоответствий, которая должна вестись работниками ОТК и производственными мастерами. Работники ОТК ведут эту работу в рамках летучего контроля, объем минимальный которого должен планироваться отделом качества на основе динамики показателей качества. Свои проверки состояния качества они должны проводить с участием производственных мастеров. Планирование профилактики несоответствий (летучего контроля) должно вестись на основе плана производства и анализа состояния качества выполнения технологических операций. Такой системный подход позволяет усилить контроль выполнения бракоопасных операций и соответственно снизить вероятность ошибки и повысить эффективность производства. Этой же схемы работы целесообразно придерживаться представителями заказчика при контроле качества работ, выполняемых на судах и кораблях.

Работники ОТК представляют протоколы летучего контроля в цеховую комиссию по качеству, которая должна рассматривать их как несоответствия. Производственные мастера свои предложения по повышению и поддержанию уровня качества представляют в цеховую комиссию по качеству как предложения, которые также должны рассматриваться как несоответствия. Оценку работы производственных мастеров по качеству целесообразно вести не только по фактическим показателям качества, но и с учетом их предложений по повышению и поддержанию уровня качества.

Слаженная и направленная на качество работа производственного и контрольного аппарата в рамках системы управления качеством обеспечивает выполнение требований действующих нормативных документов в срок и без малейших нарушений.

Можно привести и обратный пример, когда на одном из судостроительных заводах при строительстве головного танкера-химовоза поперечные переборки были установлены не в плоскости флор, а со смещением, значительно превышающим допуск, предусмотренный правилами классификационного общества. Установка и приварка переборок были приняты производственными и контрольными мастерами. Несоответствие правилам классификационного общества было обнаружено инспектором Германского Ллойда, по правилам которого строилось судно. Поперечные переборки пришлось срезать, переставлять и вновь заваривать.

Приведенный пример показывает, что профилактика несоответствий как элемент системы управления качеством в ее работе совершенно не участвовал. Взаимодействие между производственными и контрольными мастерами, направленное на повышение и поддержание требуемого уровня качества организовано не было. Цеховая комиссия по качеству в своей работе полностью игнорировала производственный план. Как следствие, завод понес значительные потери при исправлении выявленного брака.

5. Показатели качества

Показатели качества играют значительную роль в системе управления качеством, т.к. с их помощью появляется возможность вести количественную оценку уровня качества. В качестве основного показателя качества за определенный плановый период времени обычно используется коэффициент бездефектности K_B , представляющий собой отношение:

$$K_B = \frac{B_o}{P_p}, \quad (1)$$

где B_o – количество возвратов продукции на повторное предъявление, ед.; P_p – количество приемок продукции, ед.

Показатель (1) используется для производственных цехов и предприятия в целом. Однако он не учитывает влияния многих факторов на качество. Попытки в 1980-х гг. разработать на его основе обобщающий показатель качества, который бы учитывал наиболее существенные факторы, определяющие и характеризующие уровень качества, привели к понятию коэффициента качества K_K :

$$K_K = a_1 \cdot K_B + a_2 \cdot K_A + a_3 \cdot K_P + a_4 \cdot K_{II} + a_5 \cdot K_K, \quad (2)$$

где a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 – весовые коэффициенты; K_B – коэффициент бездефектности; K_A – количество браковочных актов; K_P – количество рекламационных актов; K_{II} – количество невыполненных предписаний летучего (профилактического) контроля; K_K – оценка культуры производства.

По сути, в выражении (2) мы приходим к аддитивной многомерной модели полезности [3, 372], в которой весовые коэффициенты a_i представляют собой относительную важность параметров, описывающих уровень качества. Не сложно заметить, что коэффициент качества K_K будет зависеть от значений весовых коэффициентов. При присвоении значений весов рекомендуется выполнять разработанные для таких задач требования не нарушать постулатов непротиворечивости, согласовывать оценки с суждениями принимающих решение лиц и добиваться согласия и единодушия между принимающими решение лицами. Однако найти соотношение между весовыми коэффициентами a_i на продолжительное время не удастся. В каждый период времени будет улучшаться тот показатель, вес у которого имеет то или иное даже незначительное преимущество над остальными. Найти разумный баланс между весовыми коэффициентами a_i довольно сложно, но возможно. Для этого понадобится несколько (три, четыре) итераций, выполненных на основе тщательного анализа состояния качества по достаточно продолжительным периодам времени (год, полтора года).

Для всех производств на судостроительном заводе будет важным установить понятие «приемка» не только потому, что в соответствии с выражением (1) от него зависит основной показатель качества, но и потому, что это понятие должно обеспечивать сравнительный анализ по плановым временным периодам. В таких производствах, как сборочно-сварочное, сборочно-стапельное, монтажное и малярно-изолировочное, определение понятия приемка, как правило, будет идентичным понятию «технологический комплект». Возможно, что для крупных технологических комплектов, исходя из необходимости доведения плана до производственного участка и мастерской группы, придется ввести понятие «подкомплект».

Заключение

Специфика судостроительного производства определила ряд особенностей системы управления качеством в судостроении. Сложность судостроения как производства определяет такие условия работы, что руководители должны понимать и принимать как должное ра-

боту в области качества, требующую от них больших усилий.

Судостроительное производство состоит из нескольких видов производств, поэтому для каждого из них должно быть четко разработано и определено понятие «приемка». Понятие «приемка» следует установить в документе 2.1 табл. 1, что даст сравнимость данных статистики показателей качества. Это, в свою очередь, обеспечит понимание происходящего в области качества на предприятии, что повысит качество принимаемых управленческих решений.

Относительная продолжительность производственного цикла требует, чтобы выявленные несоответствия в технологических операциях устранялись не только в технологических процессах, по которым ведется работа и где они обнаружены, но и в тех, которые будут использоваться в предстоящих этапах постройки судна.

Повышенные требования к качеству ряда технологий, например, сварке, определяют необходимость обучения и аттестации персонала. Для поддержания уровня знаний, учитывая сложность для персонала удерживать в уме многочисленные параметры технических требований, целесообразно в дополнение к дням качества на производственных участках использовать наглядную технологию на рабочих местах.

В завершении следует отметить, что любая работа будет страдать от формализма и безынициативности, а работа в области качества вообще не совместима с ними.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов, В. В. Автоматизация управления предприятием. Сер. Секреты менеджмента / В. В. Баранов [и др.]. – М.: Инфра, 2000. – 276 с.: ил.
2. Дафт, Р. Менеджмент / Р. Дафт; пер. с англ.; под ред. С. К. Мордовина. – 8-е изд. – СПб.: Питер, 2009. – 800 с.: ил.
3. Гиг, Дж. ван. Прикладная теория систем / Дж. ван. Гиг; пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 733 с.: ил.
4. Глухов, В. В. Менеджмент: учеб. для вузов / В. В. Глухов. – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2008. – 608 с.: ил.
5. ГОСТ Р ИСО 9000-2008. Словарь. – М.: Стандарты и качество, 2002.
6. ГОСТ Р ИСО 9004-2008. Рекомендации по улучшению деятельности. – М.: Стандарты и качество, 2002.
7. Кунст, Г. Управление. Системный и ситуационный анализ управленческих функций / Г. Кунст, С. О'Доннел; пер с англ.; под общ. ред. Д. М. Гвишиани. – М.: Прогресс, 1981. – 512 с.: ил.
8. Мазур, И. И. Управление проектами: учеб. пособие / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро, Н. Г. Ольдерогге; под общ. ред. И. И. Мазура. – 3-е изд. – М.: Омега-Л, 2005. – 664 с.: ил.
9. Менеджмент: учеб. / под ред. В. В. Томилова. – М.: Юрайт-Издат, 2003. – 591 с.: ил.
10. Проект Россия. Кн. 1. – М.: Эксмо, 2009. – 384 с.
11. Тейлор, Ф. У. Научная организация труда / Ф. У. Тейлор // Научная организация труда и управление: сб. / под ред. А. Н. Щербаня. – М.: Экономика, 1965. – 431 с.
12. Управление трудовым коллективом. – Свердловск: Изд-во Уральского ун-та, 1989. – 267 с.
13. Фатхутдинов, Р. А. Производственный менеджмент: учеб. для вузов / Р. А. Фатхутдинов. – 5-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 496 с.: ил.
14. Эмерсон, Г. Двенадцать принципов производительности // Научная организация труда и управление: сб. / Г. Эмерсон; под ред. А. Н. Щербаня. – М.: Экономика, 1965. – 431 с.

Никифорова Г. Е.
G. E. Nikiforova

**РОЛЬ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ ТРАНСПОРТА
В СОВРЕМЕННОМ ГОРОДЕ**

THE ROLE OF TRANSPORT-RELATED NOISE POLLUTION IN A MODERN CITY

Никифорова Галина Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail niki_end_k@mail.ru

Ms. G.E.Nikiforova – PhD in Engineering, Associate Professor, Komsomolsk-on-Amur State Technical University. E-mail niki_end_k@mail.ru.

Аннотация. Шум – один из ведущих факторов современной окружающей среды, неблагоприятно воздействующих на человека. Проблема изучения акустического режима жилых районов города, разработки и внедрения мероприятий по борьбе с шумом, прогнозирования и обеспечения комфортных условий в районах перспективной застройки города является весьма актуальной. Установлено, что городской шум достигает величин, представляющих опасность для здоровья населения, и поэтому постоянно увеличивается число высокочувствительных к его воздействию людей.

Summary. Noise – one of the leading factors of modern environment adversely influencing the person. The problem of studying of an acoustic mode of residential areas of a city, working out and introduction of actions for struggle against noise, forecasting and maintenance of comfortable conditions in areas of perspective building of a city is rather actual. It is established, that city noise reaches the sizes representing health hazard of the population and consequently constantly the number of high-sensitivity people to its influence increases.

Ключевые слова: транспорт, город, шум, уровень шума, зеленые насаждения.

Key words: transport, a city, noise, noise level, green plantings.

УДК 628.51

Промышленность и транспорт оказывают на окружающую среду, отдельные экосистемы как положительное, так и отрицательное влияние. С одной стороны, нарушаются принципы функционирования экосистем, они могут деградировать и потерять устойчивость, но с другой – транспорт обеспечивает движение материальных потоков (строительство автомобильных дорог, аэродромов, создание транспортной техники, организация и управление движением транспортных средств, хранение товаров), обеспечивает комфортабельные условия жизнедеятельности людей.

Транспортное средство является источником опасности для здоровья и жизни людей из-за возможного вовлечения в дорожно-транспортные происшествия, загрязнения окружающей среды вредными выбросами, транспортного дискомфорта, потребления природных ресурсов, но вместе с тем несет положительные социально-экономические и морально-психологические эффекты.

Состояние городской экосистемы как непосредственной среды обитания человека имеет большое значение. По причине концентрации, интеграции и интенсификации деятельности в городской среде становится весьма актуальным накопление знаний о состоянии экосистем в непосредственной близости от жилья человека – конкретных городских районах и жилых кварталах.

В современной городской экосистеме уровень шумового воздействия, создаваемого, в основном, автотранспортом, довольно высок. Поэтому в зоне жилой застройки приобретает большое значение такой физический фактор, как шумовое воздействие. Влияние данного ви-

да загрязнения на здоровье человека общеизвестно, но на данный момент шумовое загрязнение в городской среде остается недостаточно изученным.

Наибольшее значение шумовой фактор имеет в крупных городах с высокой численностью населения вследствие значительной загруженности городских автомагистралей транспортом, а также из-за особенностей застройки жилых кварталов (близкое расположение от дорог жилых домов, дошкольных и школьных детских учреждений, недостаточное внимание к организации шумопоглощающих полос из зеленых насаждений и т. д.).

Была осуществлена работа по исследованию и оценке фактического уровня шумового загрязнения от транспорта в городской среде (см. рис. 1). Рассматривались улицы и кварталы с различной степенью озеленения и разным видовым составом зеленых насаждений вдоль дорог. Особое внимание уделялось измерению уровня шума вблизи жилых зданий и около различных образовательных учреждений дошкольного и школьного образования, находящихся в непосредственной близости от транспортных магистралей.

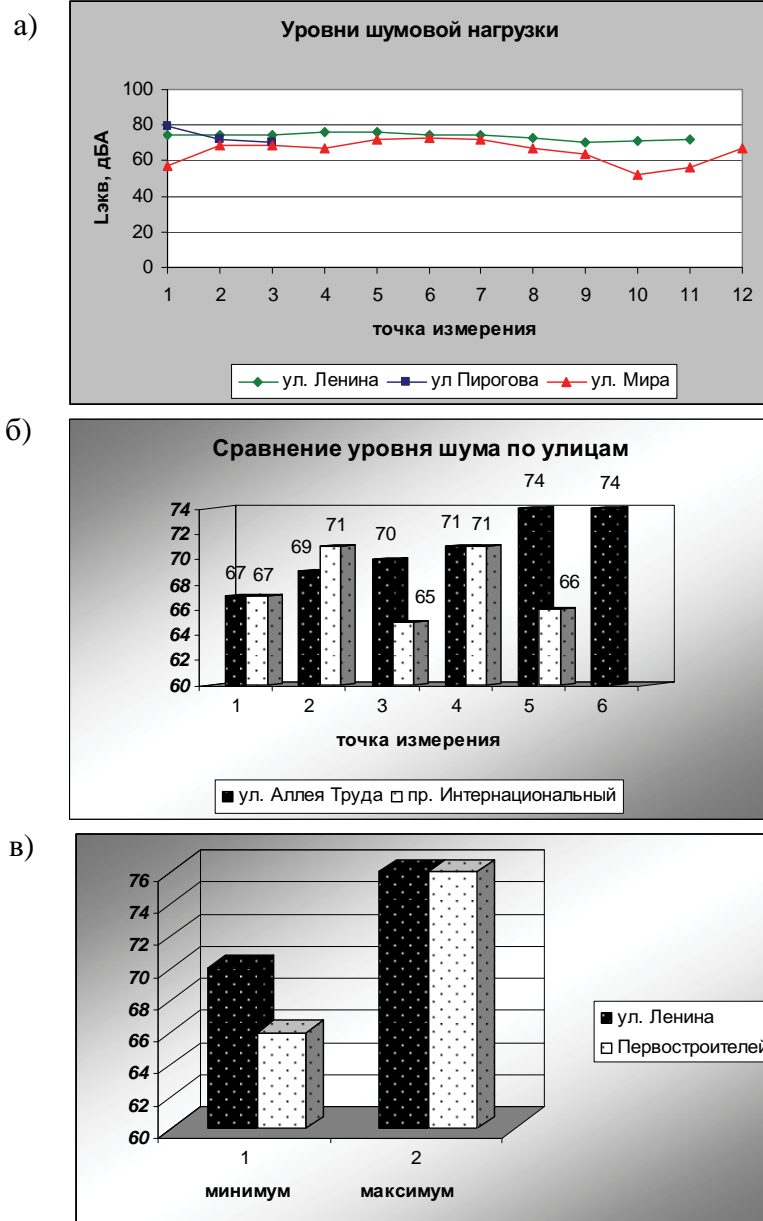


Рис. 1. Анализ уровня шумового воздействия от транспорта на улицах города, взятых по следующим признакам: а – наличие трамвайных путей; б – разделительная полоса по направлениям движения; в – наличие рельсового транспорта и его влияние на общий уровень шума

В результате проведенного исследования получены следующие результаты. Выявлено, что повышенному уровню шумового воздействия от автотранспорта подвергаются жители домов, расположенных вдоль автотранспортных магистралей. Измерения показали, что уровень шума на центральных улицах города превышает допустимое значение на 10–12 дБА (например, около здания администрации города 74 дБА). Уровень воздействия закономерно зависит от интенсивности движения (степени нагрузки), вида транспорта. В связи с этим был проведен сравнительный анализ расчетных и экспериментальных данных (см. рис. 2).

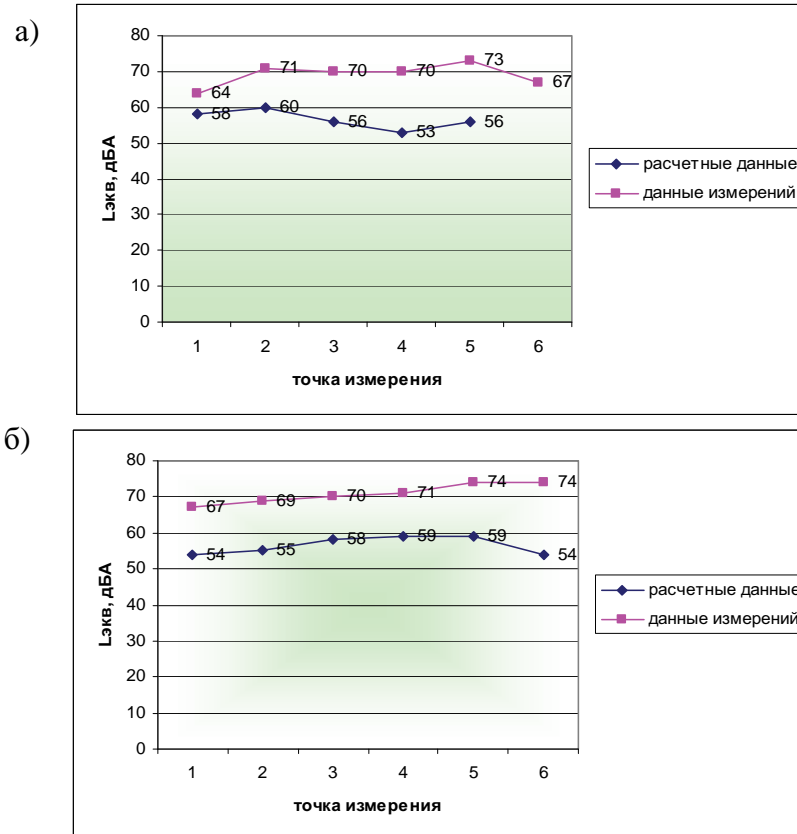


Рис. 2. Сравнительный анализ расчетного и фактического уровней шума:
а – ул. Вокзальная; б – Аллея Труда

Проведя исследование, приходим к выводу, обе рассматриваемые кривые схожи, но данные измерений значительно превышают расчетные значения практически по всем исследуемым улицам. Средняя величина превышения составляет 15 дБА. Таким образом, методика, используемая для расчета эквивалентного уровня звука по данным об интенсивности движения транспортного потока, занижает фактический уровень акустической нагрузки от автотранспорта.

Параметры конструкции дороги как инженерного сооружения оказывают влияние на уровень транспортного загрязнения, то есть выбросы токсичных веществ, шум, вибрации транспортных средств, движущихся по дороге.

В их числе продольный профиль дороги, поперечный профиль земляного полотна, наличие и ширина разделительной полосы, число полос движения, наличие пересечений дорог разных направлений, вид и состояние покрытия, шероховатость покрытия.

Разделительная полоса на автодороге снижает уровень транспортного шума. Изменение уровня шума на различных покрытиях при их одинаковом состоянии может достигать 7,5 дБА. Наибольший шум возникает на мокром покрытии и на покрытии с шероховатостью более 3 мм. Оптимальной с точки зрения шумообразующего фактора является шероховатость в пределах 0,8–1,2 мм, соответствующая покрытию из мелкозернистого асфальтобето-

на. Из группы дорожных факторов наибольшее влияние на уровень транспортного шума оказывают тип и шероховатость покрытия, а также наличие и размеры разделительной полосы.

Внутри квартала уровень шума находится в диапазоне ± 3 допустимой величины воздействия, которая составляет для территорий, непосредственно прилегающим к жилым домам, зданиям поликлиник, детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений, библиотек и так далее, в дневное время 55 дБА.

Снижение происходит из-за наличия зеленых насаждений вдоль дорог (см. рис. 3). Значительное снижение шума (17 дБА) наблюдается после первой шумозащитной полосы. Это объясняется ее шириной (5 м), их расположением в шахматном порядке (в составе шумозащитной полосы – березы, ели), а также, вероятно, некоторым снижением интенсивности движения транспорта во время измерения. Можно сделать вывод о том, что для максимального уменьшения уровня звука с помощью зеленых насаждений достаточно одной качественно засаженной полосы шириной около 5 м. Далее существенного снижения уровня шума не происходит, несмотря на данные нормативных документов и зарубежных исследований. Особенность заключается в том, что уменьшение уровня шума происходит только при условии «непрерывности» ряда зеленых насаждений (при перекрывании крон). Однако на многих улицах города (что особенно значимо для основных и наиболее загруженных автомагистралей) деревья растут одиночно, кустарники отсутствуют, это не приводит к желаемому снижению шума.

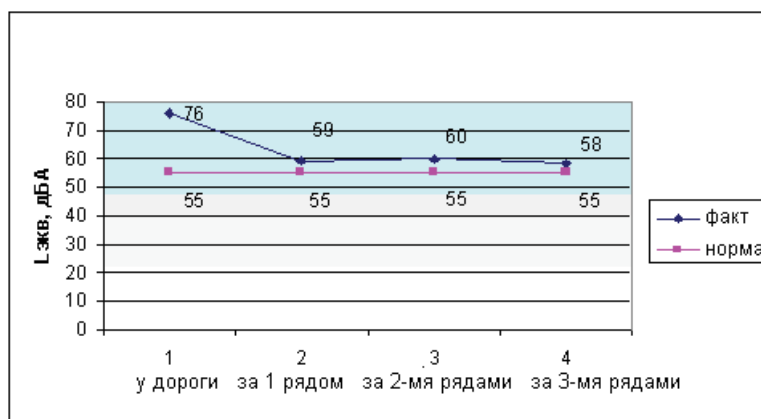


Рис. 3. Роль зеленых насаждений в снижении акустического воздействия от транспорта на улицах города

Ситуация для города в целом по озеленению вдоль проезжей части выглядит следующим образом. Вдоль дорог отмечается преобладание высоких деревьев. По видовому составу это, в основном, тополь, ильм, ель, яблоня – на наиболее загруженных улицах города. Отмечается малое количество кустарниковой растительности. Преимущественно, шумозащитные полосы представлены одним рядом деревьев, кустарники отсутствуют. Использование высоких как лиственных, так и хвойных деревьев в качестве защиты от шума малоэффективно, так как снижение шумового воздействия наблюдается только на уровне смыкающихся крон, ниже которых уменьшения шума не происходит.

На улицах, расположенных в отдалении от центра города, где разрешено движение грузового автотранспорта, было выявлено превышение допустимого уровня шума. Он составляет на различных улицах от 66 до 74 дБА. Данная ситуация усугубляется малым количеством или полным отсутствием зеленых насаждений, а также расположением некоторых жилых зданий недопустимо близко к проезжей части.

Повышение величины шумового загрязнения наблюдается также на улицах при наличии трамвайных путей – это центральные улицы города. Уровень звука составляет 70–74 дБА. Однако степень озеленения здесь, в большинстве случаев, выше, поэтому уровень шумового воздействия снижается. По одной из главных улиц – ул. Ленина – в местах отсутствия (или



малого числа) зеленых насаждений вдоль дорожного полотна уровень шума достигает 70–73 дБА около жилых домов.

После исследования и анализа соответствия данных измерений и расчетных значений уровня шума, выявления наиболее загруженных участков улиц города и составления шумовой карты будут рассмотрены различные методы понижения шума. К ним относятся шумозащитные сооружения (экраны).

Реальная защита экранированием достигается за счет одновременного отражения и поглощения части потока энергии за счет использования специальных материалов, оформленных конструктивно в виде пакетов, стенок, и широко используется при реализации жизненных циклов транспортных объектов.

Шумозащитные сооружения можно классифицировать:

- как вертикальные экраны (вертикальные или наклонные поверхности), различающиеся по высоте (более 6 м, 2–6 м, до 2 м);
- шумопоглощающие или шумоотражающие экраны;
- грунтовые валы и валы, комбинированные с экранами;
- галереи и другие перекрытия проезжей части.

Распространение шума непосредственно через шумозащитное сооружение приводит к снижению эффективности шумозащиты за счет дифракции, поэтому при их проектировании необходимо предусматривать меры, направленные на увеличение потерь при передаче звуковой энергии через сооружение. Для практических целей расчета шумозащиты достаточно, чтобы уровни звука, передаваемые через сооружение, были на 3–6 дБА меньше уровней, создаваемых шумом, попадающим в зону акустической тени по пути дифракции. Требуемое условие звукоизоляции достигается увеличением массы сооружения в зависимости от требуемого снижения уровня звука.

Конструкцию шумозащитного сооружения определяют следующие факторы: наличие местных строительных материалов; климатические факторы; безопасность движения и обеспечение необходимого расстояния видимости; эстетические качества; возможность отвода земли под сооружение и обслуживание жилой застройки; возможность комбинации шумозащитных сооружений с гаражами или другими объектами.

Наибольший эффект по задержке вредных выбросов шумозащитными экранами достигается, если их высота превышает 4 м. Непосредственно за экраном концентрация загрязняющих веществ снижается более чем в 2,5 раза. Но повышается концентрация автомобильных выбросов на дороге, вследствие ухудшения условий проветриваемости. Возникают проблемы с удалением твердых отходов и загрязнений с дорожного полотна и обочин.

Более эффективно защитное действие эколандшафтных мероприятий – зеленых насаждений. В роли защитных сооружений придорожных территорий растительность используется в виде лесополос или зеленых массивов. При этом большую роль играет видовой состав растительности. Растительность, с одной стороны, может поглощать звук в силу растрового эффекта, но с другой, – отражать его в силу наличия объема зеленой массы.

По результатам проведенной работы можно сделать вывод, что население, проживающее в условиях городской экосистемы, постоянно подвергается воздействию транспортного шума (превышение предельно допустимого уровня 3–19 дБА). Таким образом, за рост комфорта, материальных и моральных благ, которые дает отдельному индивидууму автомобиль, он должен платить большую цену. Причем с развитием автомобилизации эта цена будет постоянно возрастать.

Пока невозможно количественно установить предельный уровень промышленно-транспортного освоения конкретных урбанизированных территорий, начиная с которого экосистемы будут полностью разрушены в течение непродолжительного отрезка времени и будут созданы неприемлемые для человека условия существования. Однако то, что экосистемы на урбанизированных территориях интенсивно деградируют, окружающая природная среда теряет репродуктивные свойства под действием промышленности и транспорта и это негативно отражается на здоровье людей, установлено определенно.

Клинская Е. О., Христофорова Н. К.
БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРИДОРОЖНЫХ ЗОН ГОРОДОВ
ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА ПО СОДЕРЖАНИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОДУВАНЧИКАХ

Клинская Е. О., Христофорова Н. К.
E. O. Klinskaya, N. K. Khristoforova

**БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРИДОРОЖНЫХ ЗОН
ГОРОДОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА ПО СОДЕРЖАНИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ОДУВАНЧИКАХ**

**BIOGEOCHEMICAL ESTIMATION OF THE CONDITION OF THE ROAD RESERVE IN
THE FAR EAST OF THE RUSSIAN FEDERATION BY THE HEAVY METAL CONTENT
IN DANDELIONS**

Клинская Е. О. – кандидат биологических наук, старший преподаватель Дальневосточной государственной социально-гуманитарной академии (Россия, Биробиджан).

Ms. E.O.Klinskaya – PhD in Biology, Senior Lecturer, The Far East State Social and Humanitarian Academy, Birobidzhan, Russia

Христофорова Н. К. – доктор биологических наук, профессор Дальневосточной государственной социально-гуманитарной академии (Россия, Биробиджан).

Ms.N.K.Khristoforova – Doctor of Biology, Professor, The Far East State Social and Humanitarian Academy, Birobidzhan, Russia

Аннотация. Представлен сравнительный анализ данных по содержанию свинца, цинка, никеля и кадмия в придорожных растениях городов Дальнего Востока: Биробиджана, Хабаровска, Владивостока и Уссурийска.

Summary. Comparative analysis of the data for lead, zinc, nickel and cadmium in a roadside plants of cities in the Far East: Birobidzhan and Khabarovsk, Vladivostok and Ussuriysk.

Ключевые слова: тяжелые металлы, растения, одуванчики, концентрации.

Key words: heavy metals, plants, dandelions, concentration.

УДК 574

Постоянно усиливающееся техногенное воздействие на окружающую природную среду приводит к экологически опасному состоянию звеньев биогеоценоза. Главным компонентом наземно-воздушной среды жизни для растений является почва, из которой они получают все питательные вещества, необходимые для роста и развития. Но почвенные растворы, из которых растения берут необходимые элементы, могут содержать и зачастую содержат токсичные металлы, которые также поступают в растения. Кроме того, твердые и жидкие атмосферные осадки попадают как на почву, так и надземную часть растений, сорбируются и ассимилируются листовыми пластинами деревьев, кустарников и трав.

Известно, что выбросы тяжелых металлов в атмосферу городов происходят в результате технологических процессов практически всех отраслей промышленности – металлургии, металлообработки, машиностроения, стройиндустрии, радиотехники, полиграфии, ТЭЦ, а также коммунального хозяйства и автотранспорта [1; 2; 3].

Естественно, что, чем больше в городе промышленных и топливно-энергетических предприятий, а также автотранспорта, тем сильнее загрязнена окружающая среда. Кроме этого, интенсивность загрязнения воздуха зависит от целого ряда природных факторов, в первую очередь от метеорологической ситуации и рельефа местности. В связи с этим необходим постоянный мониторинг состояния растительного покрова городов.



Целью настоящей работы является сравнительный анализ данных по содержанию свинца, цинка, никеля и кадмия в придорожных растениях городов Дальнего Востока: Биробиджана, Хабаровска, Владивостока и Уссурийска.

Металлы выбраны по следующим причинам: свинец как часто контролируемый элемент, источником поступления которого в окружающую среду многие годы был и еще продолжает оставаться автотранспорт; кадмий и никель как элементы, свидетельствующие об общем техногенном прессе; цинк как металл, указывающий в целом на уровень техногенно-антропогенного воздействия на среду.

В качестве объекта исследования были выбраны растения рода *Тагахасум* (одуванчики). Хотя разными авторами в разных городах анализировались разные виды одуванчиков, согласно Е. М. Крепсу [4] и полученной нами информации, виды растений одного рода накапливают в своих органах близкие количества металлов, что позволяет использовать для сравнительных целей виды одного рода. Одуванчики выбраны потому, что они являются широко распространенными, устойчивыми к загрязнению, легко идентифицируемыми растениями, а также универсальными и очень чувствительными индикаторами состояния среды, адекватно реагирующими на ее изменение [5; 6; 7; 8].

Выбранные нами города имеют разную численность населения и разные масштабы техногенного пресса, однако их объединяет высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха, основным источником которого является автотранспорт. Воздействие автотранспорта в городах Дальнего Востока усугубляется огромным количеством подержанных «иномарок» с неконтролируемым выхлопом. Такие города, как Биробиджан и Уссурийск, ежедневно пропускают через себя сотни транзитных машин, перегоняемых из Приморья по трассе федерального значения «Владивосток – Чита» [7; 9].

Концентрации свинца, цинка, никеля и кадмия в одуванчиках города Биробиджана были определены в ходе наших исследований в течение 2002 – 2003 гг. Данные о содержании этих металлов в растениях городов Владивостока, Уссурийска и Хабаровска взяты из работ Н. С. Шиховой [6], Е. В. Соболевой и Л. Т. Ковековдовой [7], О. Н. Борисенко и Н. П. Стариковой [8].

Для сравнения мы использовали средние концентрации. Результаты представлены на рис. 1, *a – z*.

Как видно на рис. 1, *a*, наиболее высокой средней концентрацией свинца выделяются одуванчики города Владивостока. Очевидно, это связано как с химической природой металла, так и аккумулятивными способностями одуванчика. Поскольку свинец прочно связывается с органическими лигандами почвы и практически не мигрирует в ней, превышение его концентраций в одуванчиках Владивостока по сравнению с уссурийскими говорит о том, что основное поступление металла идет за счет выпадения пылевых частиц, содержащих свинец, из атмосферы, сорбции их на развитой поверхности листовой пластины и последующей аккумуляции.

Одуванчики Биробиджана содержат наименьшее количество свинца, и это понятно, поскольку по сравнению с Владивостоком и Уссурийском этот город не является индустриальным центром, и в нем преобладает легкая промышленность.

Однако высокая дисперсия среднего говорит о большой неоднородности условий существования растений и наличии мест, в которых одуванчики обладают более высокими концентрациями свинца, чем во Владивостоке.

Сравнивая содержание свинца в одуванчиках городов Биробиджана и Хабаровска, мы наблюдаем преобладание концентраций металла в биробиджанских растениях. Среднее количество свинца в биробиджанских одуванчиках по сравнению с хабаровскими выше в 1,5 раза. По-видимому, такие различия в средних концентрациях связаны с сокращением объемов использования этилированного бензина в Хабаровске, которое осуществляется с 1995 г. В Биробиджане переход на автомобильное топливо, не содержащее свинца, начался лишь в самые последние годы. По данным К. Филатова [10], удельный выброс вредных ком-

понентов двигателя, работающего на неэтилированном бензине, почти в 5 раз меньше, чем на этилированном. Следовательно, и опасность воздействия на среду и организмы снижается в той же пропорции. Более того, Хабаровск имеет объездную дорогу для транзитного автотранспорта, идущего по федеральной трассе «Хабаровск – Чита».

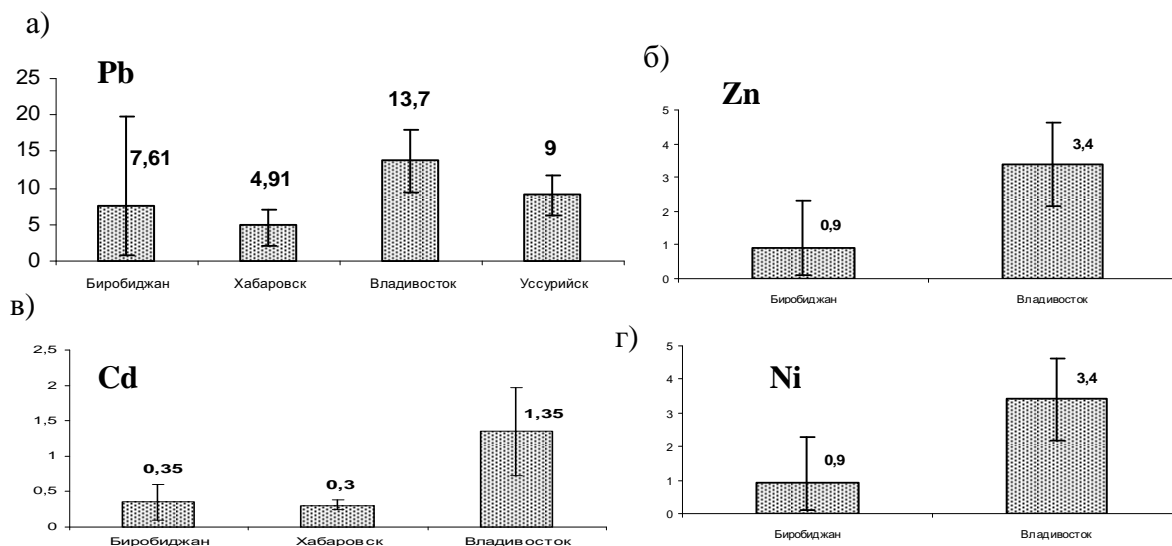


Рис. 1. Содержание тяжелых металлов в одуванчиках Дальнего Востока, мг/кг:
а – свинца; б – цинка; в – кадмия; г – никеля

Анализируя рис. 1, б, можно видеть, что максимальное количество цинка содержится в одуванчиках города Владивостока. Здесь оно почти в 2 раза выше, чем в придорожных растениях Биробиджана и Хабаровска.

Владивосток является крупным промышленным центром Дальнего Востока, а также центром рыбного промысла и добычи морепродуктов. В нем сосредоточены предприятия машиностроения, в том числе судостроение и судоремонт, производство оборудования для рыбной и деревообрабатывающей промышленности, горно-шахтного оборудования. Развиты пищевая промышленность, производство стройматериалов. Кроме этого, Владивосток является основным транзитным поставщиком на Дальнем Востоке подержанных иномарок и самым крупным городом на Дальнем Востоке России.

Средние же концентрации цинка в хабаровских и биробиджанских одуванчиках значительно не отличаются, хотя количество Zn в растениях, растущих вдоль дорог в Хабаровске, несколько выше, чем в Биробиджане, и разброс (диапазон) величин концентраций здесь намного уже, что говорит о постоянстве антропогенного пресса в Хабаровске и о его большей изменчивости в Биробиджане.

Согласно рис. 1, в, наибольшие количества кадмия характерны для одуванчиков Владивостока, свидетельствуя о самом высоком техногенном прессе на среду в этом городе.

Неожиданными на первый взгляд оказались результаты по содержанию кадмия в одуванчиках Биробиджана и Хабаровска. Хотя Хабаровск намного превосходит Биробиджан и по численности населения, и по промышленному потенциалу, средние концентрации кадмия в одуванчиках этих городов практически не различаются. Отклонение от среднего (дисперсия среднего) содержания этого металла в биробиджанских растениях существенно выше, чем в хабаровских. Поскольку основным источником металла в придорожных почвах и растениях являются истираемые шины колес и трущиеся части автомобилей, а также специальные присадки, добавляемые к моторным маслам для замедления их окисления, в небольшом городе Биробиджане, по центральным улицам которого проходит весь транзитный транс-



порт, концентрации кадмия в одуванчиках достигают уровня хабаровских растений и даже превосходят их.

Как видно на рис. 1, 2, одуванчики столиц Приморского края и Еврейской автономной области существенно отличаются и по концентрациям никеля, достигая различий в 3,7 раза. Известно, что одним из основных источников загрязнения окружающей среды никелем является автотранспорт: сжигание жидкого топлива, а также использование металлосодержащих присадок к моторным маслам. В связи с этим преобладание содержания Ni в одуванчиках Владивостока по сравнению с Биробиджаном объясняется густой сетью автомобильных дорог в столице Приморья, высокой плотностью транспортного потока, ежегодным увеличением городского парка транспортных средств. Кроме собственных машин, в нем временно находится большое количество подержанных «иномарок», предназначенных для перегона в другие районы Сибири и Дальнего Востока [9].

Существенно также, что в южной части города находится крупная ТЭЦ, работающая на жидком топливе, и ее выбросы, содержащие никель, усиливают эффект загрязнения одуванчиков автомобильным выхлопом. Мы не останавливаемся здесь на повсеместном использовании кадмиево-никелевых батарей, применение которых сопровождается загрязнением окружающей среды этими металлами [11], и на трансграничном атмосферном переносе на территорию Приморья данных химических элементов от промышленно развитых и густо заселенных стран [12], которые в целом увеличивают техногенную нагрузку на окружающую среду кадмием и никелем.

Таким образом, сравнительный анализ показал, что максимальные концентрации свинца, цинка, кадмия и никеля имеют одуванчики города Владивостока. Придорожная биота Хабаровска и Биробиджана загрязнена свинцом, цинком, кадмием и никелем в меньшей степени. Содержание цинка и кадмия в одуванчиках Хабаровска близко к его уровню в биробиджанских растениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисенко, О. Н. Экология среды обитания и здоровье населения / О. Н. Борисенко, Н. П. Старикова // Проблемы устойчивого развития регионов в XXI веке: материалы VII международного симпозиума, 11-15 октября, 2004 г. – Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, БГПИ, 2004. – С. 130-132.
2. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саг, Б. А. Ревич, Е. П. Янин [и др.]. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
3. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас; пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
4. Клинская, Е. О. Анализ способности одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*) накапливать свинец и цинк / Е. О. Клинская // Электрон. журн. – Исследовано в России, 209, 2004, С. 2210 – 2218. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/209.pdf>.
5. Крепс, Е. М. Об оценке сравнительно-физиологических факторов / Е. М. Крепс // 1 Совещ. биогруппы АН СССР по физиологическим проблемам. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937. – С. 31-32.
6. Лозановская, И. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении / И. Н. Лозановская, Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова. – М.: Высш. шк., 1998. – 287 с.
7. Соболева, Е. В. Свинец в почвах и растениях г. Уссурийска и Уссурийского района / Е. В. Соболева, Л. Т. Ковековдова // Электрон. журн. – Исследовано в России, 182, 2188 – 2195, 2003. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/182.pdf>.
8. Филатов, К. Вкус автомобильного «сэндвича»: [Электронный ресурс] / К. Филатов. – Режим доступа: <http://www.nm.md/daily/article/2002/07/18/0402.html>.
9. Христофорова, Н. К. Кадмий и никель в прибрежных водах Приморья (Японское море) / Н. К. Христофорова, С. И. Коженкова // Пробл. регион. экол. – 2000. – № 2. – С. 66-76.
10. Христофорова, Н. К. Экологические проблемы региона: Дальний Восток – Приморье / Н. К. Христофорова. – Владивосток; Хабаровск: Хабаровск. кн. изд-во, 2005. – 304 с.
11. Шихова, Н. С. Биогеохимическая оценка состояния среды / Н. С. Шихова // Экология. – 1997. – № 2. – С. 146-149.
12. Khristoforova, N. K. The use of brown algae *Sargassum* spp. In heavy metal monitoring of the marine environment near Vladivostok, Russia / N. K. Khristoforova, S.J. Kozhenkova // Ocean and Polar Research. – 2002. – V. 24 (4). – P. 325-329.

Гореликова Е. И., Гаврилова М. В., Степанова И. П.
ОЦЕНКА ИНГАЛЯЦИОННОГО КАНЦЕРОГЕННОГО РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ
Г. КОМСОМОЛЬСКА-НА-АМУРЕ ОТ СВИНЦОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Гореликова Е. И., Гаврилова М. В., Степанова И. П.
E. I. Gorelikova, M. V. Gavrilova, I. P. Stepanova

**ОЦЕНКА ИНГАЛЯЦИОННОГО КАНЦЕРОГЕННОГО РИСКА ЗДОРОВЬЮ
НАСЕЛЕНИЯ Г. КОМСОМОЛЬСКА-НА-АМУРЕ ОТ СВИНЦОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

**ESTIMATION OF THE RISKS INHALATION OF CARCINOGENIC LEAD POLLU-
TIONS POSES TO THE HEALTH OF KOMSOMOLSK-ON-AMUR'S POPULATION**

Гореликова Евгения Игоревна – старший преподаватель Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: gorelikova_ei@mail.ru.

Ms. Evgeniya I. Gorelikova – Senior Lecturer of Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: gorelikova_ei@mail.ru.

Гаврилова Мария Васильевна – студентка Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: grains_of_wisdom@mail.ru.

Ms. Maria V. Gavrilova – student of Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: grains_of_wisdom@mail.ru.

Степанова Ирина Павловна – доктор технических наук, профессор Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: prof.stepanova@mail.ru.

Ms. Irina P. Stepanova – Doctor of Engineering, Professor of Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: prof.stepanova@mail.ru.

Аннотация. Данная статья посвящена определению значений возможного индивидуального ингаляционного канцерогенного риска от свинца для взрослых и детей, которые оказались в пределах санитарно-защитной зоны Комсомольского-на-Амуре аккумуляторного завода. Сценарий включает в себя детей, которые посещали ближайший к территории завода детский сад и жили в границах санитарно-защитной зоны, и взрослых, которые работали на заводе и жили в границах санитарно-защитной зоны предприятия. Оценка дается на основании ретроспективных данных за весь период существования завода (63 года). Рассмотрены интенсивность работы предприятия в различные периоды времени, изменение концентрации в зависимости от увеличения расстояния от предприятия, розы ветров.

Summary. This article is devoted to determination of ranges possible individual inhalation carcinogenic risks from lead for adults and children, who appeared in the within the boundaries kindergarten of sanitary-protective zone of Komsomolsk-on-Amur Battery Plant. The script includes children, who visited closest to the plant nursery and lived in the boundaries of sanitary-protective zone, and adults, who worked in the plant and lived in the boundaries of sanitary-protective zone of enterprise. The estimation is given on the basis of retrospective data for the entire period of the plant (63 year). Considered the intensity of the enterprise in different time periods, concentration change increasing distance from the enterprise, wind rose.

Ключевые слова: доза, канцерогенный риск, свинец, санитарно-защитная зона, роза ветров, концентрация, рабочая зона, жилая зона.

Key words: dose, carcinogenic risk, lead, sanitary-protective zone, prevailing winds, concentration, work zone, residential zone.

УДК 614

В целой серии работ [1-7] были опубликованы данные по оценке загрязнения территории г. Комсомольска-на-Амуре выбросами свинца электротехнического завода (ООО «КнААЗ») за его полный жизненный цикл: с момента открытия в 1942 г. до момента консервации в 2005 г. (63 года). Для каждого года этого периода были построены параметрические модели предприятия, которые позволили с помощью математической модели проф. Берлян-



гда (методика ОНД-86 и программа «Эколог») получить распределение полей максимальных концентраций свинца на территории города в пределах зоны его влияния.

В настоящем исследовании на основании полученных расчетных данных проведена оценка канцерогенного риска здоровью населения [8] от свинцового загрязнения воздушной среды. *Индивидуальный канцерогенный риск* определяется по формуле

$$CR = LADD \cdot SF, \quad (1)$$

где LADD – среднесуточная доза в течение жизни, мг/кг·день; SF – фактор канцерогенного потенциала, (мг/кг·день)⁻¹. Он характеризует степень нарастания канцерогенного риска с увеличением воздействующей дозы на одну единицу. Этот показатель отражает верхнюю, консервативную оценку канцерогенного риска за ожидаемую продолжительность жизни человека (70 лет). Значения SF устанавливаются отдельно для ингаляционного SF_i и перорального SF_o поступления химических канцерогенов. Ингаляционный фактор наклона для свинца SF_i = 0,042 (мг/кг·день)⁻¹ [8].

Среднесуточная доза рассчитывается по формуле

$$LADD = \frac{C \cdot CR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365}, \quad (2)$$

где LADD – средняя суточная доза, мг/кг·день; C – среднесуточная концентрация вещества в загрязненной среде; CR – скорость поступления воздуха, м³/день; EF – частота воздействия, дней/год; ED – продолжительность воздействия, лет; BW – масса тела человека, кг; AT – период усреднения экспозиции (для канцерогенов AT = 70 лет); 365 – число дней в году.

Таким образом, для оценки канцерогенного ингаляционного риска имеется математическая модель, позволяющая рассчитывать и исследовать риск от таких параметров, как величина среднесуточной концентрации в загрязненной зоне, продолжительность проживания в этой зоне, возраст населения (взрослые, дети). В свою очередь, среднесуточная концентрация является функцией координат расчетной площадки: она убывает по мере удаления от предприятия, а на одном и том же расстоянии от промышленной площадки – меняется по азимуту в соответствии с розой ветров.

Кроме того, весь цикл жизни предприятия характеризуется пятью временными периодами с существенно разными мощностями выбросов площадки; разными радиусами зон влияния, разными скоростями затухания концентрации по мере удаления от источника.

Расчет индивидуального канцерогенного риска возможен для любого жителя нашего города, однако нужно задать сценарий событий (кто, где и сколько проживал и в каких условиях). Более того, по плотности проживания населения может быть определен и популяционный риск.

В настоящем исследовании мы задались целью определить индивидуальный канцерогенный риск для групп населения, оказавшихся в наиболее тяжелых условиях по сравнению со всеми другими.

ОАО «КнААЗ» был основан в 1942 г., когда страна находилась в состоянии войны, и построен на окраине молодого города. Шло время, строился город, и постепенно завод оказался расположенным в его центральной части. Буквально в пятидесяти метрах от границы территории предприятия расположился один из городских стадионов, а также дом культуры. Практически здесь же начинается жилой сектор центральной части города, в которой проживает около 200 тыс. чел.

В качестве группы максимального риска мы выбрали население, оказавшееся внутри СЗЗ предприятия: это область пространства в 50 м от территории предприятия (ближайшие точки жилой зоны) и до 100 м от территории предприятия (граница СЗЗ по старым документам. По современным требованиям минимальный размер СЗЗ – 300 м).

В этой области (от 50 до 100 м) концентрация падает по мере удаления от предприятия. В качестве расчетной величины нами была принята средняя для рассматриваемого диа-

пазона изменения радиусов концентрация, которая определялась на расстоянии 75 м от территории предприятия: это максимальная концентрация свинца, полученная расчетным методом в точке № 1 ($x = 5310$ м, $y = 4499$ м, $h = 2$ м) ($R = \text{const}$).

На рис. 1 показано, как изменялась концентрация в точке № 1 в период с 1942 по 2005 гг. Концентрация представлена в долях ПДК_{м.р.} = 0,001 мг/м³.

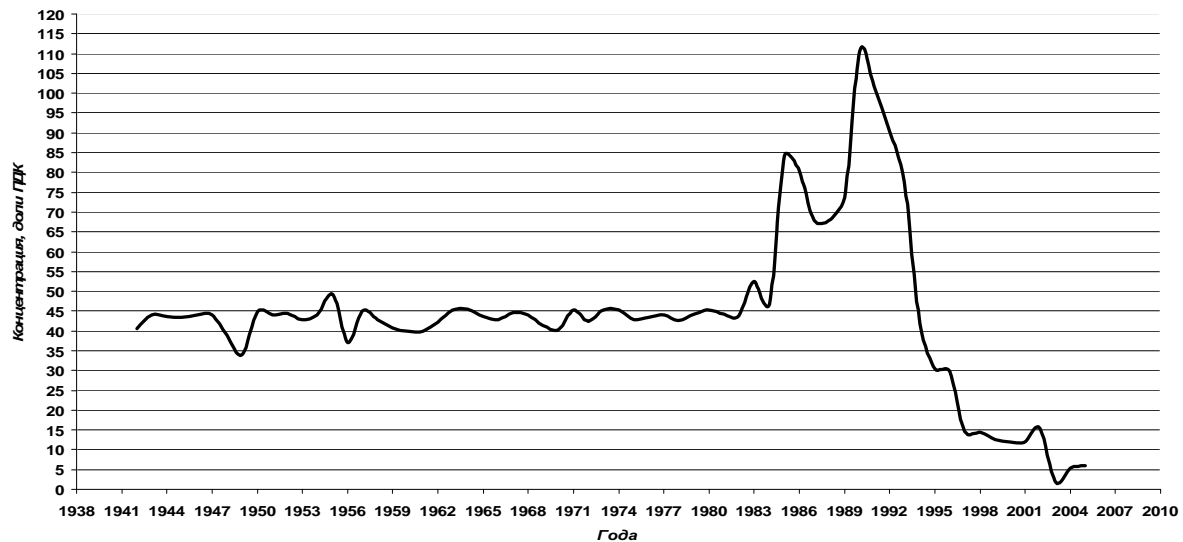


Рис. 1. Максимальные расчетные концентрации свинца в точке № 1 в период с 1942 по 2005 гг. (ПДК_{м.р.} = 0,001 мг/м³)

Представленные на рис. 1 данные показывают, что можно выделить пять временных периодов по величине максимальной концентрации (см. рис. 2):

- 42 года (1942-1984) со средней за период максимальной концентрацией 44 ПДК_{м.р.};
- 9 лет (1984-1993) со средней за период максимальной концентрацией 89 ПДК_{м.р.};
- 3 года (1993-1996) со средней за период максимальной концентрацией 60 ПДК_{м.р.};
- 6 лет (1996-2002) со средней за период максимальной концентрацией 18 ПДК_{м.р.};
- 3 года (2002-2005) со средней за период максимальной концентрацией 9 ПДК_{м.р.}.

Среднемноголетний уровень максимальной концентрации свинца в рассматриваемой точке за 63-летний период составил 45 ПДК_{м.р.}.

Для расчета среднесуточной дозы необходимо определить среднесуточную концентрацию свинца. Среднесуточная концентрация определялась как средневзвешенная по периодам года максимальная концентрация, исходя из допущения, что при направлении ветра на расчетную точку $C = C_{\text{max}}$, а при других направлениях ветра $C = C_{\text{з.в.}} = 0,05$ ПДК_{м.р.}:

$$C_{\text{с.с.}} = C_{\text{max}} \cdot K + C_{\text{з.в.}} \cdot (1 - K), \quad (3)$$

где $C_{\text{с.с.}}$ – среднесуточная концентрация, мг/м³; C_{max} – максимальная концентрация, мг/м³; K – доля дней в году с заданным направлением ветров; $C_{\text{з.в.}}$ – максимальная концентрация в зоне влияния, мг/м³, $C_{\text{з.в.}} = 0,05$ ПДК_{м.р.}.

Как следует из формулы (3), среднесуточная концентрация $C_{\text{с.с.}}$ является функцией азимута. В табл. 1 показана роза ветров для г. Комсомольска-на-Амуре. Величина максимальной концентрации зависит от сценария и может быть равной или среднемноголетней, или максимальной за выбранный временной период.

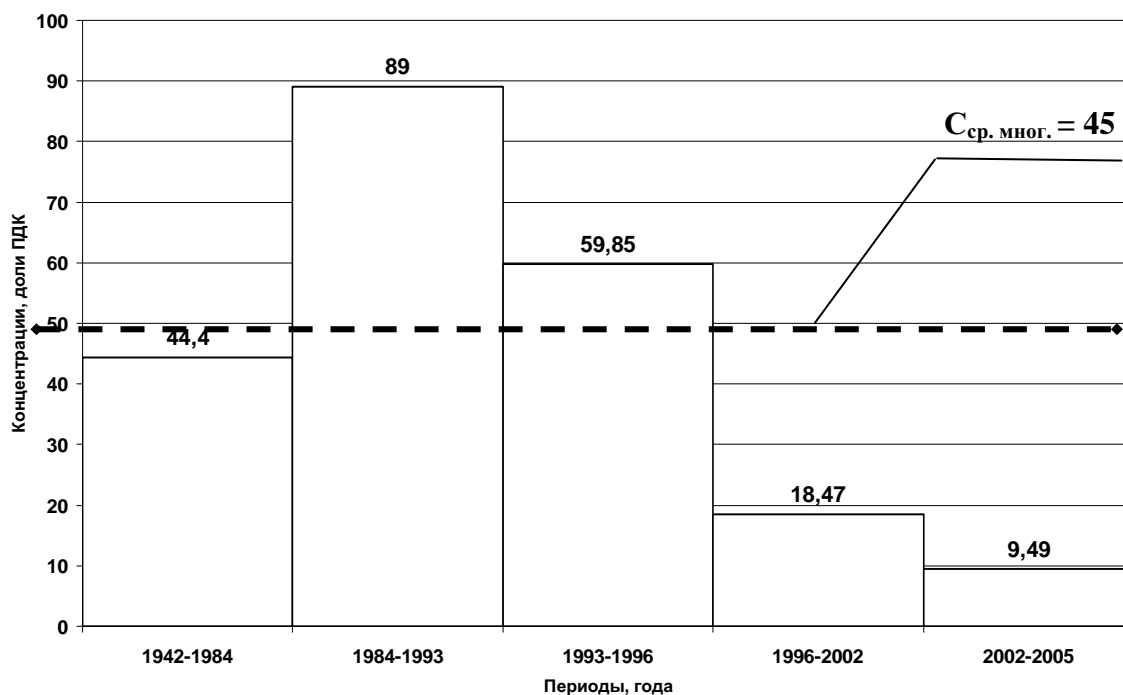


Рис. 2. Периоды с примерно равными уровнями максимальной концентрации свинца в точке № 1 по ул. Кирова 70/2, д/с – ясли № 110

Для оценки канцерогенного индивидуального риска для детей нас будет интересовать направление на северо-запад (СЗ), т.к. в этом направлении на выбранном радиусе $R = \text{const}$ расположен д/с – ясли № 110 по ул. Кирова 70/2. Величина среднегодовой розы ветров в этом направлении – 4 % (0,04 о.е. или 15 дней в году) (см. табл. 1).

Таблица 1

Среднегодовая роза ветров для г. Комсомольска-на-Амуре, %

Направление ветра	Процент дней в течение года с заданным направлением ветров: $100 \cdot K$
С	31
СВ	10
В	3
ЮВ	7
Ю	41
ЮЗ	3
З	1
СЗ	4

Например, для временного периода 1942 – 1984 гг. $C_{\text{max}} = 44,4 \text{ ПДК} = 0,0444 \text{ мг/м}^3$.

$$C_{\text{с.с.}} = C_{\text{max}} \cdot 0,04 + C_{\text{з.в.}} \cdot 0,96 = 0,0444 \cdot 0,04 + 0,050 \cdot 0,001 \cdot 0,96 = 0,001824 \text{ мг/м}^3.$$

На рис. 3 показано изменение концентрации в исследуемой точке (СЗ) в течение года. Расчеты по следующим временным периодам для группы детей, посещавших д/с – ясли № 110, аналогичны и представлены в табл. 2 в мг/м^3 и в долях ПДК_{с.с.}.

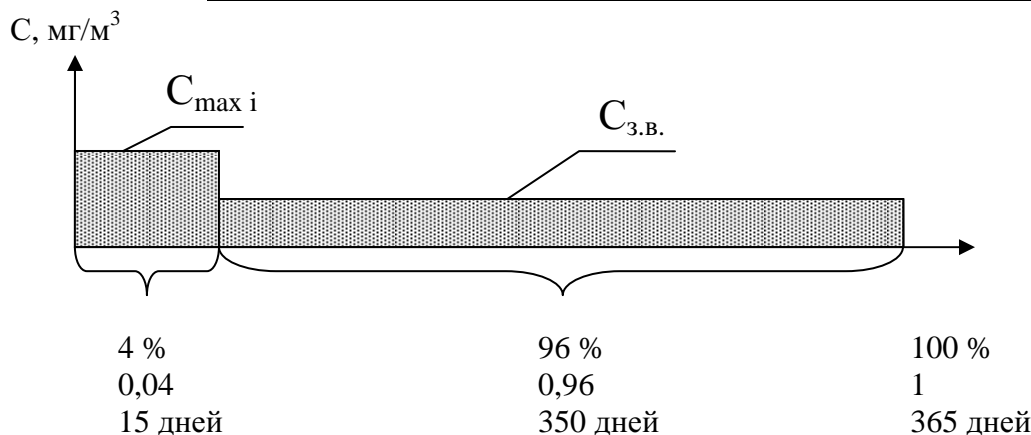


Рис. 3. Распределение концентраций свинца с учетом розы ветров

Примечание: $C_{\max i}$ – максимальная концентрация за i временной период; $C_{з.в.}$ – концентрация в зоне влияния, $C_{з.в.} = 0,05 \text{ ПДК}_{м.р.} = 0,00005 \text{ мг/м}^3$.

Таблица 2

Среднегодовые концентрации за временные периоды ($\text{ПДК}_{с.с.} = 0,0003 \text{ мг/м}^3$)

Временной период, года	Среднесуточная концентрация, мг/м^3	Среднесуточная концентрация, доли $\text{ПДК}_{с.с.}$
1942-1984	0,001824	6,1
1984-1993	0,003608	12
1993-1996	0,002442	8,14
1996-2002	0,0007868	2,6
2002-2005	0,0004276	1,4
Средняя многолетняя концентрация	0,0018352	6,1

На рис. 4 показаны уровни среднесуточных концентраций в долях $\text{ПДК}_{с.с.}$ в точке № 1 по ул. Кирова 70/2, д/с – ясли № 110 в выделенные нами временные периоды.

Было принято, что дети проживали в районе д/с круглогодично и находились в д/с с 1,5 до 6 лет (4,5 года) по 10 ч в день в течение 250 дней в году.

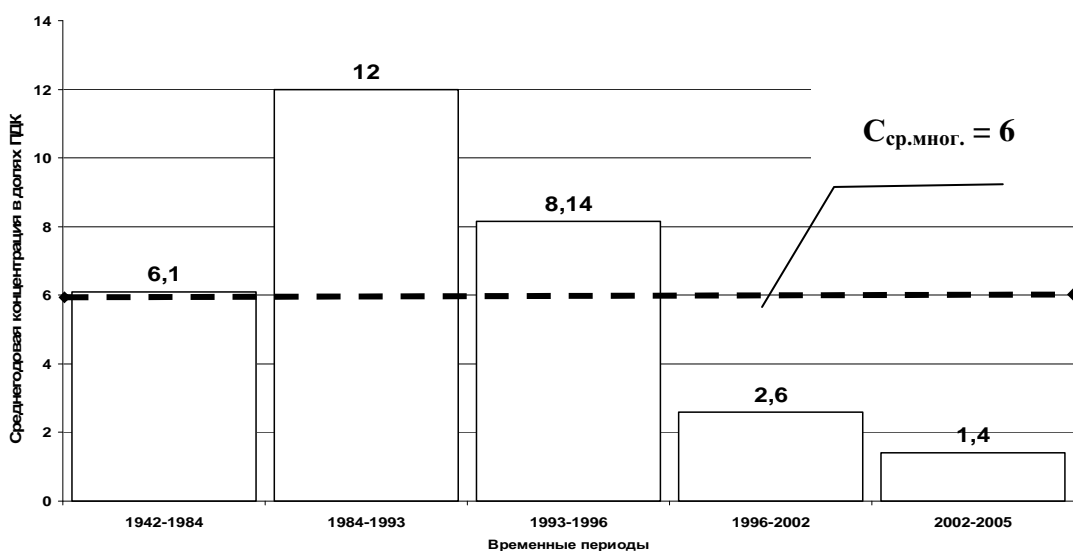


Рис. 4. Среднегодовые концентрации свинца в точке № 1 по ул. Кирова 70/2, д/с – ясли № 110, выделенные по временным периодам с примерно равной концентрацией



Как видно из представленных данных, уровни среднесуточных концентраций $C_{с.с}$ в долях ПДК $_{с.с}$ оказались равны: среднемноголетний уровень соответствует 6;

с 1942 по 1984 гг. (42 года) – 6,1;

с 1984 по 1993 гг. (9 лет) – 12,0;

с 1993 по 1996 гг. (3 года) – 8,1;

с 1996 по 2002 гг. (6 лет) – 2,6;

с 2002 по 2005 гг. (3 года) – 1,4.

Параметры экспозиции, необходимые для расчета индивидуального канцерогенного риска, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Параметры экспозиции

Вариант группы	Скорость поступления воздуха CR, м ³ /день	Частота воздействия EF, дней/год	Продолжительность воздействия ED, лет	Масса тела BW, кг	Период усреднения экспозиции AT, лет
Дети, проживавшие в районе д/с круглогодично и находящиеся в д/с по 10 ч в день в течение 250 дней	4	365	4,5	15	70
Взрослые в рабочей зоне	20	83 ¹	27 ²	70	70
Взрослые в жилой зоне	20	243 ³	27	70	70
<p>1 Работающие по $250 \text{ дн} \cdot \frac{8 \text{ ч}}{24 \text{ ч}}$.</p> <p>2 Стаж работы при досрочном выходе на пенсию в 45 лет из-за вредности труда.</p> <p>3 Находящиеся в жилой зоне по $365 \text{ дн} \cdot \frac{16 \text{ ч}}{24 \text{ ч}}$</p>					

Результаты расчетов среднесуточной дозы LADD и индивидуального канцерогенного риска CR для детей сведены в табл. 4 и показаны на рис. 5

Таблица 4

Результаты расчетов среднесуточной дозы и индивидуального канцерогенного риска для детей

Вариант группы	Временной период, года	Концентрация C, мг/м ³	Среднесуточная доза LADD, мг/кг·день	Индивидуальный канцерогенный риск, CR
Проживавшие в районе д/с круглогодично	1942-1984	0,001824	$3,13 \cdot 10^{-5}$	$1,31 \cdot 10^{-6}$
	1984-1993	0,003608	$6,18 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$
	1993-1996	0,002442	$4,19 \cdot 10^{-5}$	$1,76 \cdot 10^{-6}$
	1996-2002	0,0007868	$1,35 \cdot 10^{-5}$	$0,57 \cdot 10^{-6}$
	2002-2005	0,0004276	$0,73 \cdot 10^{-5}$	$0,31 \cdot 10^{-6}$

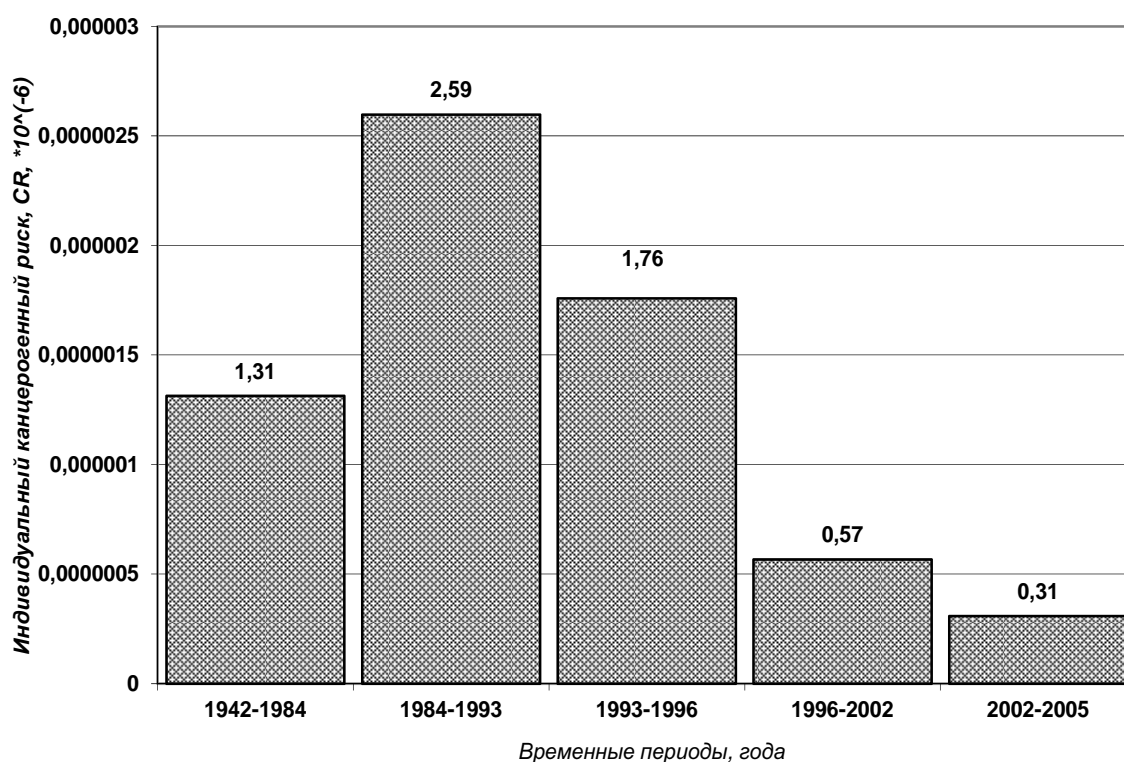


Рис. 5. Распределение индивидуального канцерогенного риска по временным периодам для группы детей, посещавших д/с по ул. Кирова 70/2 с 1,5 до 6 лет и проживавших в районе д/с

По результатам исследования самый худший сценарий развития для группы детей, посещавших д/с по ул. Кирова 70/2 с 1,5 до 6 лет и проживавших в районе д/с, имеет место в периоды с 1984 по 1993 гг. и с 1993 по 1996 гг. Канцерогенный риск для этих периодов наибольший и составляет:

- с 1984 по 1993 гг. – $2,6 \cdot 10^{-6}$;
- с 1993 по 1996 гг. – $1,8 \cdot 10^{-6}$.

В случае проживания в районе, расположенном в южном направлении от территории предприятия, индивидуальный канцерогенный риск превысит указанные величины в 10 раз и составит:

- с 1984 по 1993 гг. – $2,6 \cdot 10^{-5}$;
- с 1993 по 1996 гг. – $1,8 \cdot 10^{-5}$.

Существует следующая система критериев приемлемости риска по величине: индивидуальный риск в течение всей жизни

- равный или менее $1 \cdot 10^{-6}$ соответствует одному дополнительному случаю серьезного заболевания или смерти на 1 млн экспонированных лиц и считается пренебрежимо малым. Подобные риски не требуют никаких дополнительных мероприятий по их снижению и их уровни подлежат только периодическому контролю;

- более $1 \cdot 10^{-6}$, но менее $1 \cdot 10^{-4}$ соответствует предельно допустимому риску, т.е. верхней границе приемлемого риска. Именно на этом уровне установлено большинство зарубежных и рекомендуемых международными организациями гигиенических нормативов для населения в целом. Данные уровни подлежат постоянному контролю. В некоторых случаях при таких уровнях риска могут проводиться дополнительные мероприятия по их снижению;

- более $1 \cdot 10^{-4}$, но менее $1 \cdot 10^{-3}$ приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения в целом. Появление такого риска требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий;



- равный или более $1 \cdot 10^{-3}$ неприемлем ни для населения, ни для профессиональных групп. Данный диапазон обозначается как De manifestis Risk и при его достижении необходимо давать рекомендации для лиц, принимающих решения о проведении экстренных оздоровительных мероприятий по снижению риска.

При планировании долгосрочных программ, установлении региональных гигиенических нормативов целесообразно ориентироваться на величину целевого риска – такого уровня риска, который должен быть достигнут в результате проведения мероприятий по управлению риском. В большинстве стран величина целевого риска принимается равной 10^{-6} . Величина целевого риска для населенных мест России составляет $10^{-5} - 10^{-6}$.

Уровни риска для исследованных групп детей попадают во второй диапазон от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-4}$, соответствующий предельно допустимому риску. Данные уровни подлежат постоянному контролю. В некоторых случаях при таких уровнях риска могут проводиться дополнительные мероприятия по их снижению.

Расчет риска для взрослых, работавших на КнААЗ и проживавших в районе, прилегающем к заводу. В этом случае канцерогенный риск CR_{Σ} будет равен сумме рисков для производственной среды (рабочей зоны) $CR_{\text{раб.з.}}$ и среды проживания (окружающей среды) $CR_{\text{ос.}}$.

Определим канцерогенный риск для производственной среды. При расчете среднесуточной дозы для рабочей зоны воспользуемся данными замеров среднесменных концентраций свинца за 10-летний период (с 1995 по 2004 гг.) по всем отделениям основного и вспомогательного производства (см. табл. 5). Примем допущение, что во все остальные периоды они были такими же.

Таблица 5

Средние концентрации свинца за 10-летний период (с 1995 по 2004 гг.) по всем отделениям основного производства ООО «КнААЗ» ($\text{ПДК}_{\text{р.з.}} = 0,01 \text{ мг/м}^3$)

Отделение	Среднесменная концентрация свинца	
	мг/м^3	доли $\text{ПДК}_{\text{р.з.}}$
Мельничное	0,137	13,7
Переплавочное	0,526	52,6
Литейное	0,20	20
Намазочное	0,76	76
Сборочное	0,20	20
Слесарное	0,192	19,2
Формировочное	0,20	20
Разрубочное	0,58	58
Вспомогательное производство	0,01	1

Рассчитаем среднесуточную дозу и канцерогенный риск для производств с максимальной (намазочное отделение: $C = 0,76 \text{ мг/м}^3$) и минимальной (вспомогательное производство: $C = 0,01 \text{ мг/м}^3$) концентрациями по формулам (1) – (2). Результаты расчетов представлены в табл. 6.

Построим график зависимости индивидуального канцерогенного риска CR от свинца, поступающего из воздуха рабочей зоны в зависимости от среднесменной концентрации для рабочей зоны (см. рис. 6). По этой кривой может быть определен канцерогенный риск для работающих в различных отделениях предприятия, в том числе во вспомогательном производстве. К группе максимального риска относится персонал намазочного цеха ООО «КнААЗ».

Полученное значение индивидуального канцерогенного риска для рабочей зоны $CR_{\text{раб.з.}} = 8 \cdot 10^{-4}$ для группы максимального риска входит в диапазон от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-3}$, приемлемый для профессиональных групп. Такое значение риска требует проведения плановых оздоровительных мероприятий. Планирование мероприятий по снижению рисков должно

Гореликова Е. И., Гаврилова М. В., Степанова И. П.

ОЦЕНКА ИНГАЛЯЦИОННОГО КАНЦЕРОГЕННОГО РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ

Г. КОМСОМОЛЬСКА-НА-АМУРЕ ОТ СВИНЦОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

основываться на результатах более углубленной оценки различных аспектов существующих проблем и установлении степени их приоритетности по отношению к другим гигиеническим, экологическим, социальным и экономическим проблемам на данной территории [8].

Таблица 6

Результаты расчета среднесуточной дозы и канцерогенного риска для взрослых в производственной среде

Подразделение/Концентрация рабочей зоны, мг/м ³	Среднесуточная доза LADD, мг/кг·день	Индивидуальный канцерогенный риск CR
Намазочное / 0,76	0,019	$8 \cdot 10^{-4}$
Вспомогательное производство/ 0,01	0,00025	$0,1 \cdot 10^{-4}$

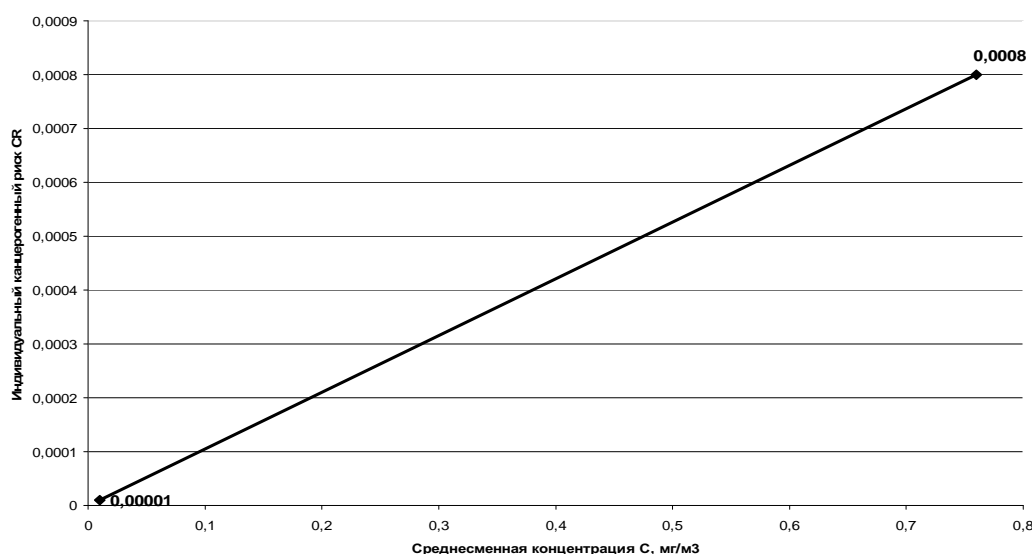


Рис. 6. График зависимости индивидуального канцерогенного риска $CR_{\text{раб.з.}}$ от среднесменной концентрации свинца в рабочей зоне

При расчете индивидуального канцерогенного риска для взрослых в жилой зоне $CR_{\text{ОС}}$ были рассмотрены все возможные варианты сценариев с точки зрения возможной величины максимальной концентрации за цикл жизни завода и длительности проживания в такой среде, а также изменение концентраций по азимуту. Расчеты показали, что максимальный уровень риска для взрослых в жилой зоне $CR_{\text{ОС}} = 1,43 \cdot 10^{-4}$ соответствует сценарию: проживание в непосредственной близости от КнААЗ в течение 63 лет (1942-2005 гг.) при расположении по азимуту на юг от предприятия (см. табл. 7).

Таблица 7

Канцерогенный риск для взрослых в жилой зоне в зависимости от азимута

Вариант сценария	T, лет	Азимут	$C_{\text{ОС}}$, ПДК _{с.с}	$CR_{\text{ОС}}$
Проживание в непосредственной близости от КнААЗ в течение 63 лет (1942-2005 гг.)	63	Ю – 41	61,6	$1,43 \cdot 10^{-4}$
		С – 31	46,5	$1,08 \cdot 10^{-4}$
		СВ – 10	15	$0,35 \cdot 10^{-4}$
		ЮВ – 7	10,5	$0,24 \cdot 10^{-4}$
		СЗ – 4	6	$0,14 \cdot 10^{-4}$
		В, ЮЗ – 3	4,5	$0,105 \cdot 10^{-4}$
		З – 1	1,5	$0,035 \cdot 10^{-4}$



Полученное значение индивидуального канцерогенного риска для жилой зоны при проживании от предприятия по направлению на юг ($CR_{OC} = 1,43 \cdot 10^{-4}$) и на север ($CR_{OC} = 1,08 \cdot 10^{-4}$) неприемлемо для населения в целом. Появление такого риска требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий. По остальным азимутам риск не выходит за диапазон от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-4}$, соответствующий предельно допустимому риску.

Суммарный канцерогенный риск для группы взрослых, работавших на КНААЗ и проживавших на расстоянии от территории завода от 50 до 100 м, составляет по азимутам:

$$\text{Ю: } CR_{\Sigma} = CR_{\text{раб.з.}} + CR_{OC} = 8 \cdot 10^{-4} + 1,43 \cdot 10^{-4} = 9,43 \cdot 10^{-4};$$

$$\text{СЗ: } CR_{\Sigma} = CR_{\text{раб.з.}} + CR_{OC} = 8 \cdot 10^{-4} + 0,14 \cdot 10^{-4} = 8,14 \cdot 10^{-4}.$$

Он входит в диапазон более $1 \cdot 10^{-4}$, но менее $1 \cdot 10^{-3}$ и считается приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения в целом. Появление такого риска требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий.

Заключение. В работе определены диапазоны возможных индивидуальных ингаляционных канцерогенных рисков от свинца для взрослых и детей, оказавшихся в пределах границ санитарно-защитной зоны электротехнического завода в г. Комсомольске-на-Амуре. В сценарий включены дети, посещавшие ближайший к заводу д/с и проживавшие в границах СЗЗ, и взрослые, отработавшие на заводе и проживающие в границах СЗЗ предприятия.

Оценка дана на основе ретроспективных данных за весь период существования завода (63 года). Учтены интенсивность работы предприятия в разные временные периоды, изменение концентрации по мере удаления от предприятия, изменение концентрации по азимуту.

Уровни риска выше целевого риска для зарубежных стран 10^{-6} и населенных мест России ($10^{-5} - 10^{-6}$) и соответствуют предельно допустимому риску, т.е. верхней границе приемлемого риска. Суммарный канцерогенный риск для группы взрослых, работавших на КНААЗ и проживавших на расстоянии от территории завода от 50 до 100 м, считается приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения в целом. Появление такого риска требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонова, Т. П. Исследование свинцовой интоксикации как фактора риска персонала предприятия ОАО «КНААЗ» / Т. П. Антонова, И. П. Степанова // Материалы 5-й междунар. науч.-практ. конф. в области экологии и безопасности жизнедеятельности «ДВ весна – 2006». – Комсомольск-на-Амуре, 2006.
2. Горбачев, И. В. К вопросу автоматизированного районирования территорий в зоне выбросов предприятий нефтегазового комплекса / И. В. Горбачев, Е. И. Гореликова // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2009. – № 7. – С. 24-31.
3. Гореликова, Е. И. Необходимость расширения критериев при оценке опасности свинцового загрязнения / Е. И. Гореликова, И. П. Степанова // Материалы 2-й междунар. науч.-практ. конф. в области экологии и безопасности «ДВ весна – 2002». – Комсомольск-на-Амуре, 2002. – С. 12-17.
4. Гореликова, Е. И. Методы зонирования территорий города по степени экологической опасности / Е. И. Гореликова, И. П. Степанова // Нелинейная динамика и прикладная синергетика: сб. докладов междунар. науч. конф. (23-27 сент. 2002 г.). – Комсомольск-на-Амуре: КНАГТУ, 2002. – Ч. 4. – С. 32-36.
5. Гореликова, Е. И. Свинцовое загрязнение в г. Комсомольске-на-Амуре / Е. И. Гореликова // Пятый краевой конкурс-конф. молодых ученых и аспирантов под патронажем губернатора Хабаровского края ДВО РАН (20 января 2003 г.). – Хабаровск: Ин-т водных и экологических проблем ДВО РАН, 2003.
6. Гореликова, Е. И. Методика районирования по степени опасности с учетом ретроспективы / Е. И. Гореликова // Вестник Томского ун-та, 2008. – С. 78-81.
7. Гореликова, Е. И. Методы районирования территорий, находящихся в зоне влияния выбросов предприятий по степени экологической опасности / Е. И. Гореликова // Вестник Иркутского ун-та, 2008. – С. 35-40.
8. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р2.1.10.1920-04. – 161 с.

Марченко А. Л., Христофорова Н. К., Чернова Е. Н.
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В МАССОВЫХ ВИДАХ РЫБ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ

Марченко А.Л., Христофорова Н.К., Чернова Е.Н.
A.L. Marchenko, N.K. Hristoforova, E.N. Chernova

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В МАССОВЫХ ВИДАХ РЫБ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ

COMPARISON OF HEAVY METAL CONTENTS IN DOMINANT FISH SPECIES IN THE SOUTH PRIMORYE REGION

Марченко А.Л. – аспирант Тихоокеанского института географии ДВО РАН (Россия, г. Владивосток)
Ms. A.L.Marchenko – PhD Candidate, The Pacific Institute of Geography of the Far Easter Branch of the Russian Academy of Sciences, The Far Eastern State University (Vladivostok)

Христофорова Н.К. – доктор биологических наук, профессор Дальневосточной государственной социально-гуманитарной академии (Россия, г. Биробиджан)
N.K.Khristoforova – Doctor of Biology, Professor, The Pacific Institute of Geography of the Far Easter Branch of the Russian Academy of Sciences, The Far Eastern State University (Vladivostok)

Чернова Е.Н. – кандидат биологических наук, соискатель научной степени Тихоокеанского института географии ДВО РАН (Россия, г. Владивосток)
E.N.Chernova – PhD in Biology, Senior Researcher, The Pacific Institute of Geography of the Far Easter Branch of the Russian Academy of Sciences, The Far Eastern State University (Vladivostok)

Аннотация. Приводятся данные об уровне тяжелых металлов в различных видах рыб Приморья.

Summary. The paper presents data on the heavy metal content in different fish species of the Primorye region of the Russian Federation.

Ключевые слова: тяжелые металлы, промысловые рыбы, концентрации металлов.

Key words: heavy metals, commercial fish, the concentration of metals.

УДК 574.632:504.45

Литературных данных, касающихся содержания металлов в рыбах Приморского края, немного [5, 9, 10]. В связи с этим представляло интерес оценить уровни содержания тяжелых металлов в мышцах карася серебряного – *Carassius auratus gibelio* и красноперки мелкочешуйной (дальневосточная красноперка, мелкочешуйный угай) *Tribolodon brandti* (*Dybowski*), относящихся к семейству карповых (*Cyprinidae*), как одних из важных промысловых рыб и объектов любительского лова жителей Приморья.

Карась предпочитает водоемы со стоячей водой или замедленным течением и заиленным дном. Ведет придонный образ жизни. Нерест растянут во времени и проходит с мая по август. Питается карась донными организмами, преимущественно личинками хирономид, а также потребляет зоо- и фитопланктон и крупные растения. Пик интенсивности питания приходится на летний период. В зимний период питание прекращается: карась закапывается в ил и в таком состоянии находится до марта. Карась отличается высокой экологической пластичностью и повышенной резистентностью к загрязняющим веществам и способен обитать в водоемах с разной степенью антропогенной нагрузки [6, 7].

Дальневосточная красноперка – полупроходной вид [1]. Это единственный представитель семейства карповых, приспособившийся к нагулу при океанической солености [2]. Годовой цикл половозрелых особей включает четыре этапа: зимовальный (зимовка на зимовальных ямах в реках), преднерестовый (кратковременный нагул в нижнем течении рек и побережье), нерестовый и нагульный [3]. По типу питания – нектобентофаг [4].

Объекты исследования предоставлены канд. биол. наук, ст. науч. сотр. Института биологии моря ДВО РАН М.Ю. Ковалевым. Рыбы выловлены в следующих водоемах юга Приморского края: озере Кролевецком и реках Кипарисовке и Лебединой.

Оз. Кролевецкое расположено на заболоченной территории, слабо освоенной сельским хозяйством. Озеро питается за счет нескольких небольших рек, а также реки Кневичанки, втекающей и вытекающей из него. Р. Кипарисовка образуется слиянием двух рек: Малой Кипарисовки и Большой Кипарисовки, протекающих через освоенный сельскохозяйственный район. Р. Лебединая находится на юге малонаселенного Хасанского района и впадает в б. Экспедиции зал. Посыета. В многоводные годы р. Туманная, пограничная между Россией, КНДР и КНР, несущая загрязненные воды с китайской стороны, изменяет свое русло и через реку Лебединую переносит часть своего стока в эту бухту.

Пять экземпляров рыб с каждой станции препарировали, высушивали, подвергали кислотному разложению, определяя в подготовленных к анализу пробах содержание цинка, железа, меди, марганца, кадмия, никеля методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии на приборе Shimadzu AA-6800 в пламени: ацетилен-воздух. Контроль аналитического качества работ вели с использованием холостых проб и стандартного материала SRM 2976. Ошибка определения – 2 – 8 %. Выбор металлов определялся следующими мотивами: соединения Cd и Ni свидетельствуют о техногенном воздействии на окружающую среду; Cu и Zn – об антропогенном воздействии. Кроме того, Cu и Zn, а также Fe и Mn относятся к биоэлементам, но при высоких концентрациях оказывают токсичное действие на живой организм. Концентрации металлов рассчитывались в мкг/г сухой массы.

Анализ результатов выявил вариабельность концентраций металлов в мышцах карасей и красноперок из различных местообитаний (табл. 1).

Таблица 1

Средние концентрации металлов в рыбах южного Приморья (мкг/г сырой массы)
и величины ПДК

Вид рыбы	Металл					
	Fe	Zn	Cu	Mn	Ni	Cd
Карась серебряный	7,04±2,69	19,14±7,13	0,64±0,18	0,78±0,36	0,12±0,03	0,13±0,26
Красноперка мелкочешуйная	9,79±4,14	6,22±1,1	0,69±0,37	0,24±0,06	0,17±0,16	0,03±0,01
ПДК	30	40	10	10	0,5	0,2

Как следует из таблицы, достоверные различия между видами наблюдаются по содержанию цинка, марганца и кадмия, которые преобладают в мышцах карасей. Согласно С.А. Патину и Н.П. Морозову (1981), концентрации таких биологически активных микроэлементов, как железо, цинк и марганец, заметно возрастают в ряду океанические – морские и полупроходные рыбы – пресноводные рыбы, что соответствует изменению содержания этих элементов при переходе от морских к пресноводным водоемам [8].

Таким образом, повышенные концентрации цинка и марганца в мышцах карасей, очевидно, связаны именно со средой обитания рыб и преобладанием содержания данных металлов в речных водах, по сравнению с морскими.

Сравнение содержаний металлов в тканях карасей из водоемов с разной степенью антропогенной нагрузки показало, что различия между данными недостоверны. Тем не менее, диапазон концентраций, особенно максимальных величин Fe, Cu, Mn и Cd, в карасях позволяют выделить реку Лебединую как более загрязненный водоток. Красноперка из этой реки также выделялась повышенными концентрациями Fe и Cu.

Как правило, предельно допустимые концентрации металлов в пищевых объектах приводятся в пересчете на сырую массу. По нашим наблюдениям, в процессе высушивания масса мышц карася уменьшается в $4,05 \pm 0,37$ раза, красноперки – в $3,51 \pm 0,28$.

Марченко А. Л., Христофорова Н. К., Чернова Е. Н.
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В МАССОВЫХ ВИДАХ РЫБ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ

Пересчитанные, согласно коэффициентам усушки, концентрации металлов в мышцах исследованных нами рыб представлены в табл. 2.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в рыбах южного Приморья и Сибири

Место сбора	Вид	Металл, мкг/г сух. массы					
		Zn	Fe	Cu	Mn	Ni	Cd
р. Кипарисовка	Карась серебряный	72,8±41,7 38,1-138,7	22,7±5,4 14,9-28,6	2,3±0,4 1,8-2,8	2,4±0,8 1,1-3,5	0,6±0,1 0,5-0,7	0,2±0,1 0,2-0,4
	Красноперка мелкочешуйная	23,0±3,4 17,8-25,6	29,1±7,4 21,0-39,0	2,8±1,1 1,5-4,5	0,7±0,3 0,5-1,1	н.о.	0,1±0,04 0,04-0,1
оз. Кролевецкое	Карась серебряный	85,1±18,6 54,4-102,4	24,4±10,7 17,7-43,4	2,3±0,5 1,8-3,0	2,7±0,9 1,9-4,2	0,4±0,1 0,2-0,6	0,2±0,05 0,1-0,2
	Красноперка мелкочешуйная	18,4±3,2 15,7-23,1	26,2±10,2 17,3-39,4	1,4±0,8 0,6-2,6	1,0±0,2 0,8-1,1	0,7±0,6 0-1,3	0,1±0,04 0,04-0,1
р. Лебединая	Карась серебряный	74,7±26,8 46,8-103,5	38,4±9,4 31,2-53,2	3,1±1,0 1,8-4,2	4,5±1,7 1,5-5,8	0,4±0,1 0,3-0,6	1,1-1,8 0,2-4,3
	Красноперка мелкочешуйная	24,1±2,8 20,5-28,0	47,0±15,6 32,2-73,2	2,9±1,5 2,0-5,5	0,9±0,1 0,8-0,9	1,0±0,2 0,7-1,3	0,1±0,05 0-0,1

Примечание. В каждом столбце данных по металлам в верхней строке приведено среднее и стандартное отклонение, в нижней строке – диапазон концентраций металлов; н.о. – ниже предела обнаружения

Как видно, ни по одному металлу не наблюдается превышения предельно допустимых концентраций в мышцах исследованных нами рыб. Можно полагать, что более высокие концентрации цинка и марганца в мышцах карася, по сравнению с красноперками, обусловлены условиями обитания видов. Карась, в отличие от красноперки, предпочитает водоемы со стоячей водой или замедленным течением. Как было отмечено выше, в пресных водоемах концентрации цинка и марганца преобладают над морскими их уровнями, что создает условия для большей аккумуляции этих металлов в организме пресноводных гидробионтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вдовин, А. Н. Вертикальная зональность и экологические группировки рыб залива Петра Великого / А. Н. Вдовин, Ю. И. Зуенко // Известия ТИНРО. – 1997. – Т. 122. – С. 152-176.
2. Гавренков, Ю. И. Экология мелкочешуйной *Tribolodon brandit* (Dybowski) и крупночешуйной *Tribolodon hakonensis* (Günther) дальневосточных красноперок в период размножения / Ю. И. Гавренков // Вопросы ихтиологии. – 1982. – Т. 22. – Вып. 1. – С. 49-53.
3. Гавренков, Ю. И. Биология дальневосточных красноперок рода *Tribolodon* как перспективного объекта аквакультуры южного Приморья: автореф. дис.... канд. биол. наук. – М.: ВНИИПРХ. 1989. – 25 с.
4. Гавренков, Ю. И. Особенности биологии дальневосточных красноперок рода *Tribolodon* (Cyprinidae) в водах северного Приморья / Ю.И. Гавренков, Н.В. Колпаков, Е.В. Колпаков // Вопросы ихтиологии. – 2004. – Т. 44. – № 2. – С. 186-192.
5. Ивашов, П. В. Тяжелые металлы в ихтиофауне озерных экосистем Приамурья / П.В. Ивашов, С.Е. Сиротский // Биогеохимические и геоэкологические процессы в экосистемах. Вып. 15. – Владивосток: Дальнаука, 2005. – С. 130-139
6. Никольский, Г. В. Частная ихтиология / Г.В. Никольский. – М.: Высшая школа, 1971. – 472 с.
7. Рыбы Приморья / Н.П. Новиков, А.С. Соколовский, Т.Г. Соколовская, Ю.М. Яковлев. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2002. – 552 с.
8. Патин, С. А. Микроэлементы в морских организмах и экосистемах / С.А. Патин, Н.П. Морозов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 152 с.
9. Симоконь, М. В. Тяжелые металлы в промысловых рыбах залива Петра Великого в связи с условиями обитания: дис. ... канд. биол. наук / М. В. Симоконь. – Владивосток, 2003. – 150 с.
10. Чернова, Е. Н. Концентрации тяжелых металлов в органах карася серебряного *Carassius auratus gibelio* (Cypriniformes, Cyprinidae) из озера Лебединого бассейна реки Туманной / Е.Н. Чернова, В.Я. Кавун // Экологическое состояние и биота юго-западной части залива Петра Великого и устья реки Туманной. – Владивосток: Дальнаука, 2000. – Т. 1. – С. 186-194.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА CONSTRUCTIONS AND ARCHITECTURE

Баженов В. П., Насонова М. С.
V. P. Bazhenov, M. S. Nasonova

РАСТУЩИЙ ДОМ И ПОВЫШЕНИЕ ОСЕДЛОСТИ НАСЕЛЕНИЯ КАК УСЛОВИЕ РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

THE 'GROWING HOUSE' PROJECT AND THE RISE IN POPULATION'S DEGREE OF SEDENTARISM AS A PRECONDITION FOR MUNICIPAL DEVELOPMENT



Баженов Виктор Порфирьевич – доктор экономических наук, профессор кафедры строительства и архитектуры Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: fks@knastu.ru.

Mr. Victor P. Bazhenov – Doctor in Economics, Professor at the Department of Construction and Architecture of Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: fks@knastu.ru



Насонова Мария Сергеевна – магистрант кафедры строительства и архитектуры Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: marusjkina@mail.ru.

Ms. Maria S. Nasonova – Master student at the Department of Construction and Architecture of Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: marusjkina@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема заселения территорий Дальнего Востока. Представлен проект «Растущий дом» в качестве повышения оседлости населения как условия развития муниципального образования.

Summary. The issue of the Russian Far East land settlement is considered. The «Growing House» residential building project is presented as a means for the increase of population's sedentarism and a precondition for municipal development.

Ключевые слова: модель несущей способности системы, «растущий дом», оседлость, муниципальное образование.

Key words: the model of load-carrying capacity of a system, Growing House, permanent residency, sedentarism, municipality.

УДК [338.45:69+314.1](571.6)

В экономической литературе рассматриваются многочисленные подходы и модели для характеристики саморазвития муниципальных территорий с оценкой ее предельных возможностей для проживания населения. В г. Комсомольске-на-Амуре самолетостроение, кораблестроение, металлургия, нефтепереработка нуждаются в рабочих кадрах, на этой базе формируется модель развития муниципального образования. Известна, например, модель Кристаллера, коррелирующая эволюционные процессы саморазвития территории, которая определяет оптимальное пространственное распределение центров экономической деятельности [5]. Рассматриваемая модель использует лишь минимальный набор переменных, вхо-

дящих в вычислениях. Построено несколько других уравнений, обобщающих логистический характер развития территории. При выводе их авторы исходят из основного предположения о том, что способность населения мигрировать есть функция локальных уровней экономической активности, определяющих своего рода локальную «несущую способность», которая в данном случае сводится к занятости населения. Из теории изменений (И. Пригожин) известно, что «несущая способность системы» принимается для характеристики ее самоускоряющегося развития [5]. При этом рассматривается эволюционный характер обратной связи и в соответствии с теорией изменений известно, что «несущая способность» системы является не постоянной величиной, а функцией того, как используется территория.

Логистическое уравнение, которое в экологии считается классическим для несущей способности системы с ограниченными ресурсами, обеспечивающими жизнедеятельность, системы представляется по И. Пригожину [5, 253] в виде:

$$dN/dt = rN(K - N) - mN,$$

где r и m – характерные постоянные рождаемости и смертности; K – «несущая способность» окружающей среды; N – количество особей.

Данное классическое уравнение с некоторой корректировкой может концептуально характеризовать и «несущую способность территории», где N может представлять численность населения, r и m – приток и отток его.

Проблема заселения территорий является на сегодняшний день одной из ключевых проблем в социально-экономическом развитии Дальнего Востока.

Российский Дальний Восток характеризуется низкой плотностью населения. В среднем по Дальнему Востоку она составляет 1,2 чел. на 1 км², что в 7 раз ниже, чем в среднем по России (8,3 чел. на 1 км²). Наиболее плотно заселен юг Дальнего Востока – Приморский край (13 чел. на 1 км²). Прочие регионы значительно отстают от него по плотности населения. В связи с этим возникает ряд проблем (см. прим. 1).

Дальний Восток – это совокупность локальных систем расселения, практически не связанных между собой. Даже в пределах существующих очагов расселения густота городских поселений Дальнего Востока на порядок ниже, чем в Европейской России. В связи с этим сервисная сеть каждого города должна обслуживать территорию с гораздо большим радиусом, чем в Европейской России.

Поддержание связей на больших расстояниях требует более высоких расходов на функционирование транспортной системы – как на строительство и содержание дорог, портов и аэропортов, так и на дотирование перевозок.

С каждым годом численность населения Дальнего Востока неуклонно снижается. Сохранение современного демографического потенциала Дальнего Востока является критическим условием стратегического социально-экономического развития этой территории. С 1991 г. численность населения этой территории начала сокращаться, причем депопуляция опережала среднероссийские темпы почти в пять раз.

Под повышением несущей способности территории можно понимать способность ее повысить численность населения с обеспечением достойных условий проживания. В повышении «несущей способности» территории в соответствии с ФЗ № 131 «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» значительная роль отводится муниципальной власти (см. прим. 2). От того, в какой степени заинтересована власть в привлечении людей к заселению муниципальной территории, зависит в какой-то степени и стремление населения к оседлости, предпринимательской деятельности, народнохозяйственной самоорганизации.

Инвестиционному развитию территории может способствовать инициативная, девелоперская деятельность предпринимателей, связанная с застройкой земельных участков. Совокупность условий, факторов, методов, определяющих мотивацию инвесторов, как по использованию недр, так и по развитию земельных участков региональной территории, находит отражение в политике местных властей. Конкретно эта политика определяет стратегию и



тактику градостроительства, т.е. разработку комплекса мероприятий по планированию, застройке и благоустройству новых и существующих населенных пунктов [2]. В соответствии с Градостроительным кодексом функция по эффективному развитию землепользования закрепляется за местным самоуправлением, что находит отражение в утверждении документации по планировке территории, с выдачей разрешений на строительство и на ввод объектов в эксплуатацию. Инвестиционной активности предпринимателей должно способствовать и формирование муниципалитетом информационных систем обеспечения застройки поселений. В частности, застройщик должен хорошо быть информирован об институтах, определяющих его права на застройку земельного участка.

Институциональная сторона подготовки земельного участка и оформления исходно-разрешительной документации (ИРД) является весьма важным фактором успешного девелопмента земли как объекта вложения капитала. Девелоперская деятельность, определяющая темпы и эффективность развития территорий, оказывает существенное влияние на сеть благоустроенных поселений и связывающих их коммуникаций. Известно, что появление и стремительное развитие крупных поселений и городов, с одной стороны, обеспечивает условия, стимулирующие сосредоточение в них трудового, материального, информационного и интеллектуального потенциала, но с другой – снижает степень освоенности вокруг лежащей территории при оттоке работоспособного населения из небольших поселков. Можно считать, что сказывается отсутствие инвестиционных программ территориального развития региона, которые обеспечивали бы согласованное развитие крупных центров в сочетании с жизнеспособностью небольших поселений в радиусе 200 – 300 км.

Основной причиной сокращения численности населения является миграция, которая дополняется неблагоприятными тенденциями естественного движения населения (превышением смертности над рождаемостью). За период 1991 – 2007 гг. регионы ДФО потеряли 1,5 млн чел., из которых на миграционный отток пришлось более 1,3 млн чел. (см. прим. 1). Важной причиной возникновения этих тенденций является сокращение государственной поддержки отдаленных и северных территорий, что заметно сказалось на уровне и качестве жизни населения Дальнего Востока.

В среднесрочной и долгосрочной перспективе одним из главнейших ограничений реализации проектов освоения восточных территорий станет острый дефицит человеческих ресурсов, выражающийся как в его малом количестве, так и в неудовлетворительном качестве. Оба аспекта являются следствиями комплекса нерешенных проблем на стыке социальных политик: жилищно-коммунальной, образовательной, демографической, миграционной и охраны здоровья.

Большая часть трудовых ресурсов Дальнего Востока региона сосредоточена в его южной части, преимущественно в городах и ПГТ (посёлках городского типа), являющихся, как правило, трудодефицитными. В них регистрируется недостаток рабочей силы, особенно квалифицированной. Вакансии в трудодефицитных регионах занимают иностранными кадрами. Вместе с тем в посёлках и сёлах, возникших на базе лесозаготовительных, горнодобывающих предприятий, сельскохозяйственных, рыболовецких хозяйств, в местах проживания малочисленных народов Севера и Дальнего Востока, имеется значительное количество свободных рабочих рук. Однако недостаточная развитость транспортных путей на Дальнем Востоке и значительные масштабы территории снижают возможности территориальной мобильности трудовых ресурсов. Другая проблема состоит в отсутствии доступного жилья в пределах наиболее привлекательных для трудовых ресурсов локальных рынков труда.

Диспропорции на рынке труда существуют и в профессионально-квалификационном аспекте. Среди безработных граждан преобладают маловостребованные в современных условиях категории трудовых ресурсов. Увеличение спроса на квалифицированную рабочую силу и повышение требований к ее качеству не сопровождаются ростом соответствующих характеристик у потенциальных соискателей на рынке труда.

Несмотря на все перечисленные выше проблемы, Дальний Восток обладает рядом преимуществ, способных конкурировать со всеми регионами России.

Одними из ключевых конкурентных преимуществ Дальнего Востока являются его

экономико-географическое расположение в наиболее перспективном и развитом регионе мира – АТР, а также богатство природными ресурсами (водные биоресурсы, нефть, газ, лес, рудные полезные ископаемые, драгоценные металлы и камни).

Кроме того, сильными сторонами региона являются выгодное транспортное положение на пути из АТР в Европу (характерно для всей южной части Дальнего Востока), наличие протяженного морского побережья и протяженной внешней границы как возможности для социально-экономического сотрудничества и развитой «базовой» портовой инфраструктуры, а также привлекательные туристические активы и близость к крупнейшим мировым туристическим рынкам.

Производственный потенциал территории усиливает наличие двух развитых отраслевых кластеров с технологически сложными производствами – аэрокосмического и судостроительного.

Таким образом, для стабилизации и улучшения социально-экономического развития Дальнего Востока необходимо снизить отток населения с территорий Дальнего Востока и увеличить демографический потенциал населения Дальнего Востока. Сегодня Россия во многом исчерпала возможности внутренней межрегиональной миграции для перераспределения населения и трудовых ресурсов в пользу Дальнего Востока. Тем не менее, возможности привлечения трудовых мигрантов из Европейской части России составляют до 20 тыс. чел. в год (см. прим. 1). К тому же возможна миграция людей из иностранных государств.

Намного больший масштаб имеет временная трудовая миграция. Временная иностранная рабочая сила задействована в основном в строительстве, сельском хозяйстве, сфере услуг, добыче полезных ископаемых. В 2007 г. было выдано свыше 138 тыс. разрешений на работу иностранным гражданам стран дальнего зарубежья, преимущественно Китая и Вьетнама. В отношении этой категории мигрантов трудно разделить понятия временной и постоянной миграции, поскольку для многих из них миграция приобрела сезонный маятниковый характер.

Почему люди уезжают с Дальнего Востока, а те, кто приезжают, не остаются для постоянного проживания? Причин, безусловно, множество. Это и экстремальные климатические условия, удалённость от центральных европейских регионов России, недостаточная транспортная обеспеченность, невысокий уровень жизни и т.д. Но наиболее выраженной проблемой, по нашему мнению, являются условия проживания людей на территории Дальнего Востока, их обеспеченность жильём.

Таким образом, в соответствии с проектом стратегии социально-экономического развития Дальнего Востока на период до 2025 г. основной стратегической целью развития Дальнего Востока является формирование развитой экономики и комфортной среды обитания населения в субъектах Российской Федерации, расположенных на этой территории, достижение уровня их социально-экономического развития, превышающего среднероссийские показатели для реализации геополитической задачи Закрепления населения на Дальнем Востоке (см. прим. 1).

Ключевым средством для снижения оттока населения является создание комфортной среды обитания человека в зонах экономического развития: городских агломерациях, территориях освоения, системах приграничных городов. Данная задача включает в себя строительство жилья и реконструкцию жилищного фонда, развитие городской инфраструктуры, повышение качества и доступности социальных услуг.

В настоящее время на Дальнем Востоке и в частности в Хабаровском крае обеспеченность населения жильем находится на уровне 20 м² на одного жителя, что выше, чем в среднем по России. Средняя обеспеченность благоустроенным жильем составляет 13 м² на одного жителя. Количество ветхого и аварийного жилья в Хабаровском крае сравнительно невелико – 12,6 млн м². Доля такого жилья в общем жилищном фонде составляет 3,2 %, что вдвое ниже среднероссийского уровня.

Обеспеченность жильем в Хабаровском крае неравномерна и не соответствует страте-

гическим приоритетам развития Дальнего Востока. Развивающиеся городские агломерации испытывают острый дефицит жилья. Новое жилье вводится в них в ограниченных объемах, не покрывающих растущую потребность. В 2007 г. темпы ввода жилья в Хабаровском крае были в 2 раза ниже среднероссийского показателя (см. прим. 1).

Таким образом, для привлечения и закрепления людей из центральных и европейских регионов России и иностранцев на территории Хабаровского края необходимо создать такие условия проживания, которые соответствовали бы по уровню комфортности наиболее развитым российским, а также зарубежным населенным пунктам, расположенным в аналогичных климатических зонах. При этом создание комфортной среды обитания человека является совместной задачей государства, местного самоуправления и бизнеса.

В сложившейся ситуации наиболее актуальным и популярным становится малоэтажное строительство в девелопменте территорий Хабаровского края. По данным проекта стратегии социально-экономического развития Дальнего Востока, на период до 2025 г. в развитии территорий (land development) Хабаровского края приоритет будет отдан именно малоэтажному строительству с использованием каркасных и объемно-модульных технологий, а также строительству коттеджей. Но возможно ли в ближайшие годы массовое строительство индивидуальных домов? С точки зрения наличия свободных территорий – безусловно. Конечно, в наибольшей степени условию комфортности будет отвечать коттедж. Но далеко не все могут сегодня приобрести собственный дом. Доступность жилья в Хабаровском крае очень низкая, и даже с помощью ипотеки немногие способны приобрести жилье.

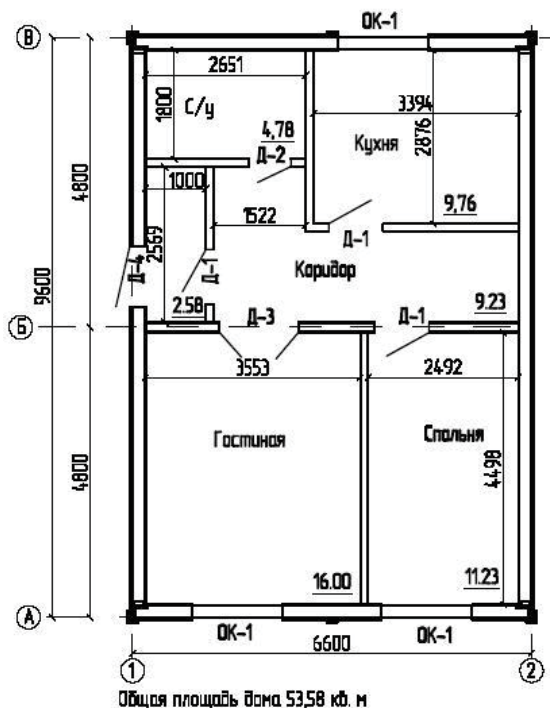


Рис. 1. План дома на первом этапе строительства

Однако значимый ресурс в решении жилищных проблем, в том числе и доступности жилья в Хабаровском крае, создает использование инновационных технологий в процессах малоэтажного строительства. Одна из таких технологий – «Растущий дом», основная идея которой заключается в том, что дом строится в три этапа, то есть по мере увеличения благосостояния семьи увеличивается и жилая площадь дома.

Полезная площадь дома может увеличиваться как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.

Принятое направление «роста» дома – по горизонтали, путем пристроек. Максималь-

ное число этапов строительства – 3. На рис. 1 – 3 представлены планы этажей на первом, втором и третьем этапах роста дома. На первом этапе (см. рис. 1) возводится центральная часть, имеющая конструктивные решения стен, окон, дверей, крыши и других элементов, учитывающие рациональное сопряжение с соответствующими элементами дома на последующих этапах строительства. Аналогично системы инженерного обеспечения центральной части рассчитаны на подключение всех инженерных систем пристраиваемых частей здания. Затем в 2 – 3 (см. рис. 2, 3) этапа, без особых переделок, возводятся остальные части здания в виде пристроек к центральной части.

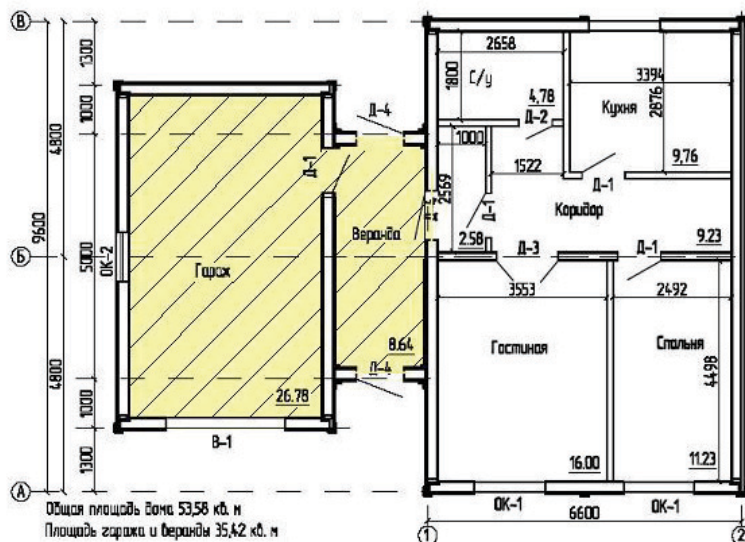


Рис. 2. План дома на втором этапе строительства

В разработанном рабочем проекте дома на первом этапе обеспечено зонирование помещений с выделением группы помещений дневного пребывания в составе: гостиной (16 м²), спальни (11,23 м²), кухни (9,67 м²) и санитарного узла. Таким образом, часть жилого дома на первом этапе представляет собой полноценную двухкомнатную квартиру.

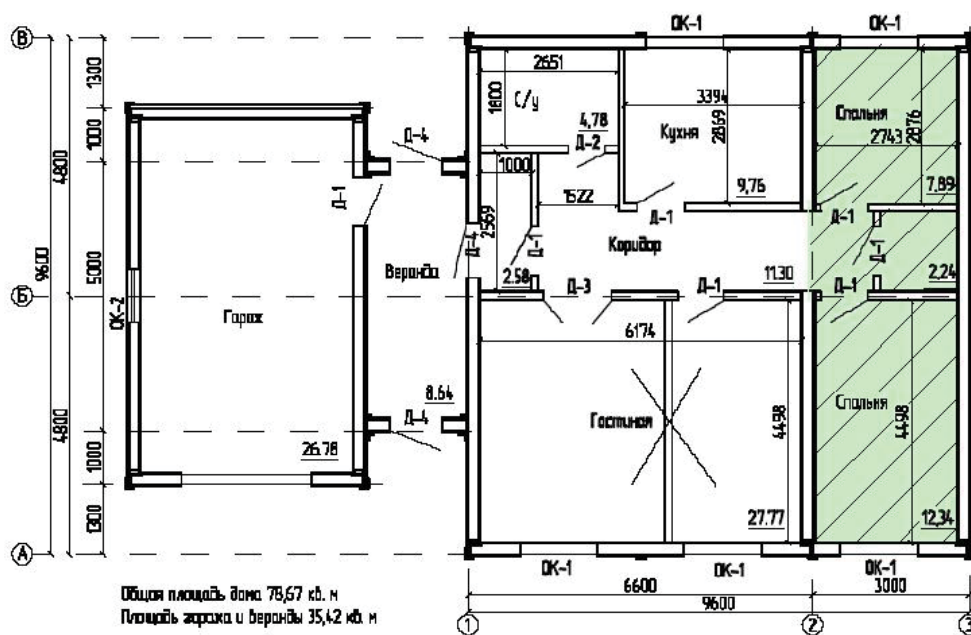


Рис. 3. План дома на третьем этапе строительства

Это и предопределяет целесообразность использования метода поэтапного строительства коттеджа, так как позволяет ускорить вселение семьи сразу по окончании первого этапа строительства. Экономический анализ проекта показал, что для возведения центральной час-



ти дома требуется только 1/3 средств от полной сметной стоимости строительства.

Проблема снижения стоимости строительства жилья сложна и требует комплексного решения задач в материаловедческом, проектном, строительном-технологическом, организационном и технико-экономическом направлениях. Всем этим требованиям удовлетворяет технология «Растущий дом». Рациональная организация строительства коттеджа с использованием метода «растущего дома» дает возможность снизить себестоимость строительства и увеличить инвестиционные возможности застройщика со средним достатком.

Важнейшим преимуществом проекта «Растущий дом» может стать привлечение самого собственника для строительства дома и использование местных ресурсов, что может положительно повлиять на развитие муниципального образования посредством пополнения налогооблагаемой базы. В соответствии с составленной нами сметой на строительство удельный вес местных материалов составил 80 %.

Принципиально важно для миграционной привлекательности территории решить земельный вопрос. Возможность приобретения земли, лесного участка и т.д. станет решающим аргументом для определенной категории мигрантов. Но если жилье, в первую очередь, является необходимым и первейшим условием для нормальной жизнедеятельности семьи, то земля выступает в качестве средства труда и наиболее надежного аргумента в решении финансовых вопросов организации производства. При этом процедура оформления земли в собственность должна быть освобождена от неоправданно длительного и затратного механизма [1, 26].

Таким образом, использование проекта «Растущий дом» позволит в ближайшее время создать комфортные условия для жизни, снизить отток населения, повысить привлекательность региона для мигрантов из других регионов России и стран СНГ, что приведет к увеличению численности населения и его трудового потенциала.

Применение проекта «Растущий дом» и предлагаемых мероприятий по закреплению населения позволяет сделать следующие выводы:

- повышается уровень оседлости населения;
- формируется новый образ жизни собственника с целеустремленностью в развитии собственности по мере возрастания доходов от профессиональной деятельности;
- повышается задействованность местных материальных ресурсов и рабочих кадров, оказывающих влияние на налогооблагаемую базу муниципального образования и обеспечивающих бюджетную эффективность проектных решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеев, Ю. Как нам удержать наш Дальний Восток? / Ю. Авдеев, С. Пушкарёв // Российская миграция. – 2009. – № 5-6 (36-37). – С. 23-26.
2. Баженов, В. П. Стимулирование интенсивности использования потенциала трудового коллектива при вахтовом методе производства работ (диагностический подход): учеб. пособие / В. П. Баженов, В. В. Баженова, Е. О. Сысоев. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2008. – 119 с.
3. Баженова, В. В. Диагностический подход к организации и стимулированию труда при вахтовом методе производства работ: моногр. / В. В. Баженова, О. Е. Сысоев. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2009. – 231 с.
4. Макконнелл, К. Р. Экономикс: принципы проблемы и политика / К. Р. Макконнелл, С. Л. Брю; пер. с англ. – 2-е изд. – Киев: Хагар-Демокс, 1993. – 785 с.
5. Пригожин, И. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой / И. Пригожин; под общ. ред. В. И. Аршинова, Ю. Л. Климонтовича, Ю. В. Сачкова; пер. с англ. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с.

ПРИМЕЧАНИЯ

1. Сервер Правительства Хабаровского Края. Стратегия социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 08.12.2009 № 2094-р. – Режим доступа: http://www.adm.khv.ru/invest2.nsf/General_ru/14FDCF99A4F6EEFACA25766B0024C2E5
2. Электронный справочник КонсультантПлюс: Высшая школа – Вып. 11. Весна 2009 – Федеральный закон от 06.10.2003 № 131-ФЗ (ред. от 25.12.2008) «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» (принят ГД ФС РФ 16.09.2003).

Чернышев Н. И., Сысоев Е. О.

МОСТОВАЯ СИСТЕМА КАК ОСНОВА РЕАЛИЗАЦИИ ТОЧЕЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Чернышев Н. И., Сысоев Е. О.

N.I.Chernyshev, E.O.Sysoev

МОСТОВАЯ СИСТЕМА КАК ОСНОВА РЕАЛИЗАЦИИ ТОЧЕЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

BRIDGE-CRANE AUTOMATED SYSTEMS AS A BASIS FOR THE IMPLEMENTATION OF PRECISE GPS-BASED AGRICULTURE



Чернышев Николай Ильич – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Управление недвижимости и кадастра» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 680015, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Комсомольская, д.23, кв.10; 89098987742.

Mr. Nikolai I. Chernyshev - PhD in Agriculture, Department of Cadastre and Civil Engineering, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur), 680022 Komsomolsk-on-Amur, 23 Komsomolskaiy st., ap.10, + 7 (9098) 987742



Сысоев Евгений Олегович – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Строительство и архитектура» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 680022, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Калинина д.3, кв.6; 89141627770. E-mail: fks@knastu.ru.

Mr. Eugene O. Sysoev – PhD in Economics, Associate Professor, Department of Civil Engineering and Architecture, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur), 680022 Komsomolsk-on-Amur, 3 Kalinina st., ap. 6, +7 (9141) 627770. E-mail: fks@knastu.ru.

Аннотация. В статье рассматриваются технические решения сохранения плодородия почв, предлагаются новые решения мостовых систем земледелия, обеспечивающих заданные параметры технологий.

Summary. The paper discusses technical solutions of the fertility soil conservation problem; new bridge-crane automated farming systems are suggested to ensure the maintenance of defined process parameters.

Ключевые слова: мостовая система земледелия, производство сельскохозяйственной продукции, урожайность.

Key words: bridge-crane farming systems, agricultural products, production.

УДК 631.31

Земледельческой наукой достаточно глубоко изучены требования растений к условиям жизни – они изложены в различных нормативах, большинство из которых реализуются с помощью сельскохозяйственных машин – это водно-воздушный режим почвы, площадь питания, глубина заделки семян, нормы удобрений, полива, ядохимикатов и ряд других, оптимизирующих рост и развитие культур, сроки их проведения.

Современные сорта и гибриды обладают достаточно высоким потенциалом в части иммунитета и продуктивности. Однако этот потенциал реализуется только частично. В земледелии действует закон равнозначности всех факторов жизни, при этом уровень продуктивности определяется не как средняя величина условий, а по наименьшей обеспеченности того или иного фактора. Поэтому для получения высокого урожая необходимо своевременное и качественное выполнение всего комплекса агротехнических мероприятий.

Однако современные сельскохозяйственные машины не обеспечивают требуемых параметров и одной из причин этого являются условия, при которых им приходится работать.



Опорой машин и механизмов, применяемых в земледелии, как известно, служит сам объект обработки – почва, которая по физическим показателям является средой неоднородной, даже в пределах одного небольшого участка. Каждый тип почвы характеризуется различной плотностью, вязкостью, удельным сопротивлением и рядом других физических свойств, кроме того, в пределах типа величина многих физических показателей изменяется в зависимости от состояния влажности, интенсивности и качества предшествующих обработок.

Академик В. П. Горячкин, разработавший теоретические основы расчета сельскохозяйственных машин, справедливо считал, что рассчитать плуг сложнее, чем крыло самолета, и главная причина в том, что почва – чрезвычайно неоднородная среда. Колебания величины нагрузок и их направление абсолютно непредсказуемы и не поддаются расчетам.

Работая в таких условиях, сельскохозяйственные машины не в состоянии выдержать заданные параметры обработки глубины вспашки, рыхления при уходе и др. Постоянно меняющаяся нагрузка на рабочие органы и движители машины вызывают пробуксовку машин и боковые смещения сельскохозяйственных орудий, что приводит к неравномерности размещения семян, повреждению растений при обработках, к потерям при уборке урожая.

Так по данным Н. А. Алексейчика, на торфяно-болотных почвах отклонение глубины заделки семян в 2 – 2,5 раза превышает норму (3 – 5 см).

По нашим данным, расстояние между клубнями картофеля при механизированных посадках колеблется от 0 до 35 – 40 см. В целом только 30 – 40 % высаженных семян оказываются на заданной глубине и расстоянии друг от друга. Отклонение от агротехнических требований глубины заделки семян и площади питания приводит к резкому снижению урожая. Урожай картофеля в зависимости от типа почвы при заглублении семян ниже допустимых норм, по данным В. В. Бурлака, снижается в несколько раз, а на тяжелых почвах заглубление до 15 – 20 см приводит к массовой гибели семян и изреженности посевов (табл. 1). Урожайность при этом снижается с 160 до 38 ц/га [3].

Таблица 1

Влияние глубины и сроков посадки на урожай картофеля, ц/га
(по данным В. В. Бурлака, 1967)

Глубина, см	Сроки посадки				
	24 мая	29 мая	3 июня	13 июня	17 июня
5	125	112	73	34	0
10	95	101	57	11	0
15	81	69	26	0	0
20	38	50	13	0	0

Неравномерность посадок вызывает полегание растений на загущенных участках и мощное развитие сорняков на изреженных посадках, которые способствуют зараженности вирусными заболеваниями, снижению качества урожая.

При обработке посевов из-за поперечных колебаний агрегата значительная часть растений подрезается.

При условии переувлажнения резко меняется плотность почвы и, естественно, с этим ее несущая способность. В данном случае предел переувлажнения почвы, как правило, связывается со способностью прохождения машин. Для большинства растений безопасный предел показателя увлажнения почвы гораздо выше, чем для проходимости машин. Растения картофеля начинают угнетаться только при достижении показателя ППВ в пределах 85 – 90 %, в то же время большинство сельскохозяйственных машин теряют проходимость уже при увлажненности 65 – 75 % от ППВ.

В связи с «условным переувлажнением» нередко упускаются сроки проведения сельскохозяйственных работ: посадки, ухода, уборочных работ.

Одним из факторов повышения производительности труда в земледелии является увеличение мощностей машин. Повышение мощности, как правило, связано с увеличением их веса. Тяжелая машина уплотняет почву, особенно при возделывании интенсивных культур, где кратность прохождения машин по полю уже после основной подготовки почвы достигает 5 – 7-кратных, а с учетом вывозки урожая 10 – 12-кратных проходов. Практически вся площадь подвергается уплотнению, что резко ухудшает физические и биологические свойства почвы, приводит к развитию эрозионных процессов, потере гумуса, снижению биологической активности почвенных организмов, резко снижается плодородие почвы.

Уплотнение почвы приводит к разрушению структуры. На рис. 1 показана поверхность почвы, где после воздушной дефляции четко прослеживаются следы от колес машин, образованные уплотненной почвой.



Рис. 1. Следы сельскохозяйственной техники на полях [5]

Особенно усложняются условия работы сельскохозяйственных машин на мелиорированных землях. Оптимальная влажность почвы для овощных и технических культур находится в пределах 55 – 70 % и 65 – 76 % для зерновых.

Нормы осушения определяются глубиной залегания уровней грунтовых вод. Предпосевные нормы осушения определяются условиями проведения механизированных сельскохозяйственных работ. Существует так называемая «машинная норма осушения», которая соответствует 0,5 м залегания уровня грунтовых вод. Установлен срок доведения уровня грунтовых вод до оптимального для устойчивой работы машин.

Современные осушительные системы обеспечивают этот уровень за 8 – 11 суток [2].

Поверхностный слой почвы в 10 – 15 см в условиях Дальнего Востока, где весна, как правило, изобилует большим количеством солнечных дней и низкой влажностью воздуха, просыхает за 2 – 3 ч. Таким образом, 8 – 11 дней, которые отводятся на создание оптимальной влажности для прохождения машин, практически отдаются сорнякам (семена которых с осени заложены в почву и с успехом прорастают), на борьбу с которыми приходится еще терять несколько дней. Исходя из этого, срок от оптимального для прорастания культивируемых растений до фактически возможного высева их машинами удлиняется до 15 дней.

Сброшенную воду из почвы в посевной период до 0,5 м УГВ (уровня грунтовых вод) в последующие периоды вегетации приходится восстанавливать за счет поливов. Объем сброшенной воды в зависимости от водоудерживающей способности почвы составляет порядка 800 – 1250 т/га. Если рассматривать современную мелиорацию с позиции растения, то она не выдерживает критики. Обилие влаги весной не мешает нормальному развитию семян растений, в период же максимального потребления воды ее в почве не оказывается, так как к этому времени она из почвы выведена. Пополнение влаги требует дорогостоящих сооружений и сложных оросительных систем.



Значительную часть энергии современные сельскохозяйственные машины при подготовке почвы, уходе за растениями и уборке урожая затрачивают на собственное перемещение. Величина эта в значительной мере зависит от типа почв, рельефа, увлажнения, физических и химических свойств почв.

Так, на торфяно-болотных почвах, обладающих высокой деформируемостью и недостаточной несущей способностью, в общем тяговом сопротивлении сельскохозяйственных машин значительную долю составляет сопротивление качению (передвижению), которое на почвообрабатывающих процессах составляет 21 – 43 %, на посеве и посадке 42 – 51 %, на уборке трав и зерновых 15 – 49 %, уборке силосных и картофеля 62 – 74 % от суммарного сопротивления машин (табл. 2) [1].

Коэффициенты сопротивления качению, в зависимости от условий работы, операции и типа ходовых систем, колеблются от 0,14 – 0,15 (уборка трав) до 0,26 – 0,31 (внесение минеральных удобрений).

Таблица 2

Тяговое сопротивление сельскохозяйственных машин на торфяно-болотных почвах при $W_{отн} = 70-75 \%$, $V = 1,94$ м/с (по данным Н. А. Алексейчик, 1978)

Виды работ, сельскохозяйственная машина	Все виды сопротивления, связанные с передвижением машин, R_{μ}	Суммарное сопротивление технологического процесса R_t	R_t/R_{μ}
Дискование, БДТ-3,0	3,70	6,50	0,64
Внесение удобрений, РТТ-4,2	3,43	3,27	0,64
Посадка картофеля, СКМ-6	5,70	7,80	0,58
Обработка междурядий, КРН-4,2	7,55	4,45	0,34
Уборка картофеля	8,14	5,51	0,72

Таким образом, современные системы сельскохозяйственных машин не обеспечивают выполнения параметров, предусмотренных технологиями, очень энергозатратные и с малым КПД. Интенсивность обработок, использование в целях экономии мощных и тяжелых машин приводит к уплотнению и распылению почв, к развитию эрозионных процессов, потере значительных площадей сельскохозяйственных угодий.

В то же время в решениях Всемирной конференции ООН по окружающей среде и развитию (1992 г., Рио-де-Жанейро) отмечено, что охрана и рациональное использование почв должны стать центральным звеном государственной политики, поскольку состояние почв определяет судьбу человечества и оказывает решающее воздействие на окружающую среду [4].

В целях снижения уплотнения почвы предлагается ряд различных технологических и технических решений: использование постоянной колеи тракторов с увеличенной длиной колесных осей, мостовых тракторов типа трактора Дэвида Доулера из Голландии с пролетом 12 м и шведского мостового трактора Biotrac с четырьмя ведущими колесами [2] и др. Постоянная технологическая колея, а также машины с увеличенным пролетом в определенной мере решают проблему снижения уплотнения почвы. Проблемы точности выполнения технологических параметров, снижение зависимости сроков выполнения сельскохозяйственных работ от погодных условий и энергоёмкости работ, внедрения автоматизации и ряда других проблем устойчивого обеспечения растений всем комплексом факторов жизни и высокой продуктивности растений, а также сохранения плодородия почв и экологии окружающей среды эти машины и технологии не решают.

Массовое гарантированное производство продуктов земледелия, по словам А. Скуратович, способен обеспечить автоматизированный мостовой агротехнический комплекс АМАК-система (рис. 2) [5].

Жесткая основа системы АМАК в виде рельсов создает условия для внедрения автоматизации, что обеспечивает своевременное и точное выполнение заданных технологических параметров, а вместе с этим получение стабильно высоких урожаев культур, сохранение и повы-

шение плодородия почвы, решение в значительной мере проблем экологии землепользования.

У агромостового комплекса типа АМАК имеется ряд существенных недостатков: земледелие привязано к рельсовым путям, почва уплотняется в местах укладки рельсов, очень высокая металлоемкость. При ширине мостового пролета от 20 до 30 м требуется порядка 250 – 350 м рельсов, то есть 17,5 т металла на каждый 1 га площади.

Значительные затраты материалов и средств на строительство рельсовых путей, отторжение из сельскохозяйственного использования свыше 2 % площадей – все это, на наш взгляд, делает малоперспективным внедрение этого комплекса.

В то же время при соответствующей доработке эта система может стать основой экологического земледелия на первом этапе в производстве пропашных культур (картофеля, овощей и др.), посевов риса с последующим выходом на выращивание полевых культур.

Как отмечено выше, основным проблемным моментом в создании почвообрабатывающего комплекса, обеспечивающего всепогодность, точность исполнения заданных технологических параметров, отвечающего условиям внедрения автоматики, является наличие жесткофиксированной основы в момент осуществления рабочего цикла: обработка почвы, точное размещение семян по глубине и на площади с последующей фиксацией семян для выполнения последующих операций по уходу в процессе вегетации.

Оптимальным вариантом земледельческого комплекса может стать мостовая система на свайных опорах.

Основные составляющие предлагаемой системы состоят из трех блоков: 1) опорные железобетонные сваи; 2) несущая платформа, передвигающаяся по сваям; 3) технологический модуль в виде каретки, который передвигается по направляющей станине. На каретке монтируются: почвообрабатывающие рабочие органы, механизмы точного высева семян, удобрений, химических препаратов, агрегаты по уборке урожая. Емкости (для семян, растворов, урожая), а также энергетические и управляющие комплексы монтируются на втором ярусе системы (рис. 3).

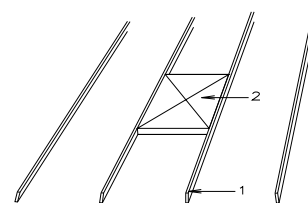


Рис. 2. АМАК-система:
1 – несущие рельсы;
2 – технологическая блок система

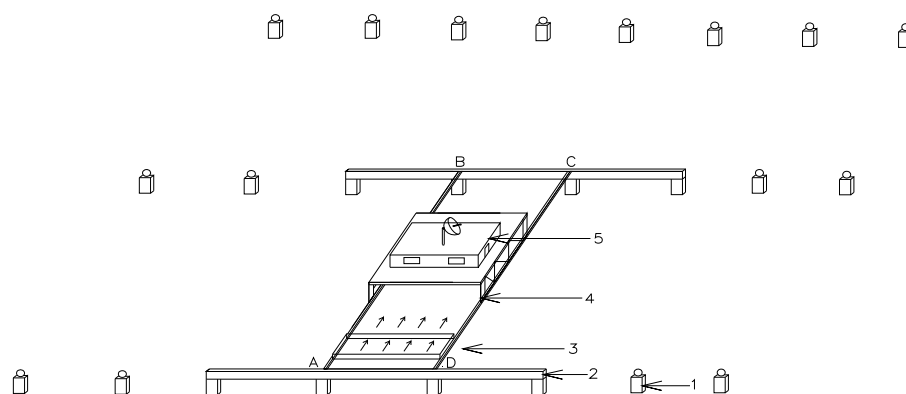


Рис. 3. Мостовая система на свайных опорах:
1 – железобетонные сваи; 2 – направляющие несущей платформы (ABCD);
3 – рабочий модуль (каретка); 4 – станина (направляющая рабочего модуля); 5 – энерготехнологический блок

Основные параметры свайно-мостовой системы: ширина платформы (AD,BC) 10 м; ширина мостового пролета (AB,CD) 30 м; длина направляющих несущей платформы 30 м; захват рабочего модуля 10 м.



Расчетная производительность СМС 5 га/ч, что при 20-часовой суточной работе составит 100 га.

С учетом агротехнических сроков в Приамурье один СМС-агрегат обеспечит подготовку почвы, посадку и последующие обработки на площади 5000 га. Основные расчетные данные приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчет нагрузки СМС при подготовке почвы и посеве культур

Культуры	Агротехнические сроки	Количество рабочих суток	Площадь, га
Зерновые	15 IV – 30 IV	15	1500
Ранние кормовые	1 V – 10 V	10	1000
Соя	10 V – 20 V	10	1000
Картофель	20 V – 25 V	5	500
Кукуруза	26 V – 30 V	5	500
Поздние культуры	1 V – 5 VI	5	500
ИТОГО:		50	5000

После 5 июня (окончание посева поздних культур) агрегат работает по уходу за пашными культурами (культивация, борьба с болезнями и вредителями, подкормка, полив и др.). Период от окончания посева первой по срокам культуры до начала обработок в 15 дней в агротехническом плане вполне допустимый срок.

Таким образом, свайно-мостовая система обеспечит следующий комплекс мероприятий:

1) своевременное выполнение агротехнических мероприятий независимо от погодных условий и времени суток;

2) исключит загрязнение природной среды ядохимикатами, нефтепродуктами и их отходами;

3) сократит расход воды, семян, удобрений, энергии на единицу продукции;

4) исключит потребности в жидком топливе за счет применения централизованного электроснабжения и других видов энергии;

5) высвободит людей с полевых работ за счет автоматизации и роботизации технологических процессов;

6) повысит престиж крестьянского труда;

7) обеспечит реализацию продуктов земледелия с выходом на каждое в отдельности растение за счет координатного посева (посадки) и ухода за растениями, повысит возможность приближения продуктивности растений к их биологическому потенциалу, максимальному использованию ФАР (фотосинтетической радиации) зоны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексейчик, Н. А. Использование машинотракторного парка на торфяно-болотных почвах / Н. А. Алексейчик. – Л.: Колос, 1978. – 103 с.

2. Анисимов, В. А. Справочник мелиоратора / В. А. Анисимов, К. В. Губер. – М.: Россельхознадзор, 1980. – 212с.

3. Бурлака, В. В. Биологические основы растениеводства на переувлажняемых почвах Дальнего Востока / В. В. Бурлака. – Хабаровск, 1967. – 210 с.

4. Лачуга, Ю. Ф. О стратегии машинно-технологического обеспечения производства сельскохозяйственной продукции России на период до 2012 г. / Ю. Ф. Лачуга, А. А. Ежевский // Стратегия машинно-технологического обеспечения производства сельскохозяйственной продукции России на период 2008–2012 гг.: материалы науч.-практ. конф. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008 – С. 8–18.

5. Скуратович, А. Лит. обзор: как выращивать растения и не утаптывать почву. Размещено на сайте 07.02.2008. <http://www.metodolog.ru/01.305/01305.html>.